obloch

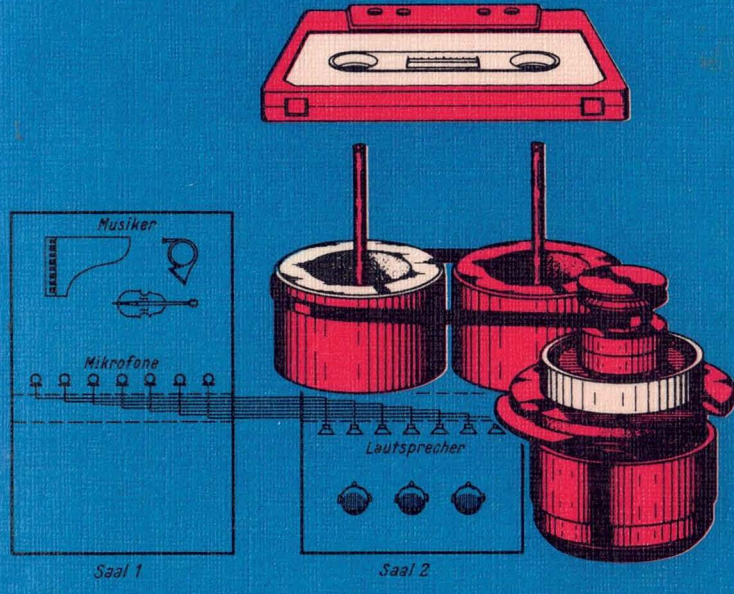
e HiFi-
o-Praxis

142

RPB

electronic-
taschenbücher

Eine HiFi-Stereo-Fibel mit ausführlichen Bauanleitungen für jedermann



Franzis'

RPB electronic-taschenbücher RPB
Titelverzeichnis

Jeder Einfach-Band umfaßt etwa 60–70 Seiten, enthält bis zu 70 Bilder und Tabellen. Mehrfach-Bände entsprechend. Die Nummer vor dem Titel ist die Bestell-Nummer. Preisänderungen und Liefermöglichkeiten vorbehalten.

Preise: Einfachband (•) DM 5.80; Doppelband (• •) DM 8.80; Dreifachband (• • •) DM 10.80.

4 • • Der Hobby-Elektroniker lernt messen (Nührmann) 2. Aufl.

5 • • Brand- und Einbruchmeldeanlagen (Bartels). 2. Auflage

6 • Antennen für Rundfunk- und Fernseh-Empfang (Mende). 15. Aufl.

8 • • • ABC der Elektronik-Orgel (Wuschek)

9 • • • Tonbandgeräte-Praxis (Junghans). 13. Aufl.

11 • • • Mikrofone (Kühne). 9. Aufl.

16 • • • Widerstandskunde für Elektroniker (Hoffmeister). 7. Aufl.

19 • • • Optoelektronik (Ratheiser/Pichler). 2. Auflage

20 • • Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern (Renardy/Lummer). 15. Aufl.

25 • • • Amateur-Funkfernschreibtechnik RTTY (Pietsch). 2. Aufl.

29 • • • Kleines ABC der Elektroakustik (Büscher). 7. Aufl.

30 • • • UHF-Amateurfunk-Antennen (Reithofer) 2. Aufl.

32 • • • DX-Vademecum (Best)

33 • • • Elektronische Voltmeter (Limann/Pelka)

34 • • • Von der Mengenlehre zur Schaltalgebra (Siegfried). 2. Auflage

38 • • • SSB- und ISB-Technik (Pelka). 2. Aufl.

40 • Fachwörter der Elektronik. 3. Aufl.

44 • • • KW- und UKW-Amateurfunk-Antennen (Diefenbach). 12. Aufl.

46 • • Sendertabelle (Schneider/Redlich). 4. Aufl.

50 • • Prakt. Antennenbau (Mende). 17. Aufl.

51 • • Kleine Fernseh-Bildfehler-Fibel (Gies/Kirsch). 3. Aufl.

53 • • • Elektroflug (Bruß). 2. Aufl.

54 • • • Schaltalgebra im Experiment (Kleemann)

56 • Der Hobby-Elektroniker ätzt seine Platinen selbst (Nührmann).

58 • • Morselehrg. (Diefenbach). 11. Aufl.

59 • • Funk-Entstörungs-Praxis (Mende). 6. Aufl.

60 • • Die Widerstand-Kondensator-Schaltung (Schneider). 7. Aufl.

64 • • Einführung in die Operationsverstärker-Technik (Hirschmann). 2. Aufl.

65 • • • Operationsverstärker-Anwendung (Hirschmann). 2. Auflage

68 • • • Kleine Elektronik-Formelsammlung (Rose). 15. Aufl.

69 • • Integrierte Schaltungen in Frage und Antwort (Hibberd). 2. Aufl.

70 • • • Laser, Maser, Hologramme (Ferretti)

73 • • Wie liest man eine Schaltung? (Benda). 3. Auflage

82 • • Was ist ein Mikroprozessor? (Pelka). 4. Aufl.

83 • • Mikrofon-Aufnahmetechnik (Praetzel/Warnke). 2. Aufl.

84 • • Fernsehantennen-Praxis (Mende). 14. Aufl.

85 • • • HiFi-Schaltungs- und Baubuch (Kühne/Horst). 9. Aufl.

87 • • Methodische Fehlersuche in der Industrie-Elektronik (Benda). 2. Aufl.

88 • • Schliche und Kniffe für Radiopraktiker (Kühne). 7. Aufl.

90 • Netzgeräte mit ICs (Sehrig). 2. Aufl.

92 • • • Einfache Experimente mit digitalen Schaltgliedern (Wirsum). 2. Aufl.

93 • • Schaltungen für die Modellfernsteuerung (Bruß). 8. Aufl.

94 • • Fliegen mit Modellhubschraubern (Snitjer)

96 • Abkürzungen aus der Elektronik (Freyer)

98 • Jedermann-Funk (Kriebel/Rockrohr). 3. Aufl.

99 • • • Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahl-Oszilloskop? (Sutaner/Wißler). 10. Aufl.

100 • • Daten- und Tabellensammlung für Radiopraktiker und Elektroniker (Mende). 4. Aufl.

Winfried Knobloch

Kleine HiFi-Stereo-Praxis

Eine HiFi-Stereo-Fibel mit ausführlichen Bauanleitungen für jedermann

Mit 104 Abbildungen

Franzis'

Nr. 142 der RPB electronic-taschenbücher

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Knobloch, Winfried:
Kleine HiFi-Stereo-Praxis : e. HiFi-Stereo-Fibel mit ausführl. Bauanleitungen für jedermann / Winfried Knobloch. – München : Franzis, 1980.
[(RPB-Elektronik-Taschenbücher] RPB-electronic-taschenbücher; 142)
ISBN 3-7723-1421-X

© 1980 Franzis-Verlag GmbH, München

Sämtliche Rechte – besonders das Übersetzungsrecht – vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, ist verboten.

Druck: Franzis-Druck GmbH, Karlstraße 35, 8000 München 2
Printed in Germany. Imprimé en Allemagne.

ISBN 3-7723-1421-X

Vorwort

Wie kaum ein anderes Gebiet der Unterhaltungselektronik interessiert die hochwertige Wiedergabe von Schallereignissen. Das ist nicht weiter verwunderlich, denn bei keiner anderen praktischen Beschäftigung mit der Elektronik ist das Erfolgserlebnis so unmittelbar. Immer wieder werden Bauanleitungen gefragt, die sich mit Hi-Fi-Verstärkern und den dazugehörenden Empfangs-, Aufzeichnungs- und Wiedergabegeräten beschäftigen. Um aber zu verstehen, weshalb diese gerade so und nicht anders entwikkelt und konstruiert werden, ist es notwendig, sich über die Zusammenhänge zwischen den Hörvorgängen und der elektronischen Wiedergabetechnik zu informieren. Dieses kleine Büchlein soll einen ersten Blick hinter die Kulissen zulassen.

Winfried Knobloch

Wichtiger Hinweis

Die in diesem Buch wiedergegebenen Schaltungen und Verfahren werden ohne Rücksicht auf die Patentlage mitgeteilt. Sie sind ausschließlich für Amateur- und Lehrzwecke bestimmt und dürfen nicht gewerblich genutzt werden*).
Alle Schaltungen und technischen Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag sieht sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, daß er weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen kann. Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Autor und Verlag jederzeit dankbar.

---

*) Bei gewerblicher Nutzung ist vorher die Genehmigung des möglichen Lizenzinhabers einzuholen.

Inhalt

1 Hören und hören lassen 5
1.1 Monofonie und Stereofonie 5
1.2 Was unser Gehör leistet 6
1.3 Wie wir die Richtung lokalisieren 9

2 Hi-Fi 12

3 Stereo 17

4 Wie Stereo aufgenommen wird 23
4.1 A/B-Stereofonie 23
4.2 Intensitätsstereofonie 24
4.3 Pseudostereofonie 25
4.4 Echte und Pseudo-Vierkanalstereofonie (Quadrofonie) 26

5 Und so wird Stereo konserviert 34
5.1 Die tönende Scheibe 34
5.2 Musik am laufenden Band 43

6 Die Dosenöffner (Abspielgeräte) 46
6.1 Die Dinge werden bewegt 47
6.2 Wie man wieder elektrische Signale erhält 58

7 Stereo – drahtlos geliefert 76

8 Jetzt gehts in die Praxis 83
8.1 Bauen oder kaufen? 83
8.2 Aufstellen und Verschalten 87

9 Selbst bauen! 92
9.1 Ein Vorverstärker, der sich zum Mischpult erweitern läßt 93
9.2 Ein Leistungsverstärker
für wahlweise 50 W oder 100 W Ausgangsleistung 118

Sachverzeichnis 135

1 Hören und hören lassen

Nach dem Gesicht ist das Gehör das zweitwichtigste Sinnesorgan des Menschen. Selbst wer dieses nicht aus eigener Erfahrung wüßte, bemerkte es spätestens auf dem Markt der Unterhaltungselektronik. Die Farbfernsehwelle ist fast vorbei, das Hi-Fi-Geschäft hat sich nach vorn geschoben. Sicher, nach über 50% Sättigung der Haushalte mit Farbfernsehempfängern mußte sich dieses Geschäft beruhigen und ein anderes in den Vordergrund treten. Schon immer gab es Augenmenschen und Ohrenmenschen. Erstere überwiegen. Das hatte die Ohrenmenschen aber noch nie bewogen, auf die nur über das Gehör aufzunehmenden Genüsse zu verzichten. Der Absatz an Musikkonserven war schon immer groß, wenn auch noch nie so groß wie heute.

Gut, wir nutzen unsere Ohren auch zu Dingen, die nicht direkt mit dem Broterwerb zu tun haben, sondern mit schönerem. Schöngeistigem zum Beispiel. Und damit sind wir eigentlich schon beim Hören von künstlerischen Darbietungen angelangt. Sie sind es nämlich, die Hi-Fi und Stereofonie erst wünschenswert gemacht haben.

1.1 Monofonie und Stereofonie

Doch lassen wir die künstlerischen Gegebenheiten erst einmal völlig beiseite. Betrachten wir die Fakten. Jedes Kind begreift schnell, daß es mit seinen beiden Ohren die Richtung und auch den Abstand erkennt, aus der der Schall kommt. Wir können uns nur nicht daran erinnern, wie dieser Lernprozeß vor sich ging. Wie jedes höherstehende Tier aber hat der Mensch zwei Ohren und Ohrmuscheln, die dieses ermöglichen. Uns Erwachsenen ist dies nur nicht mehr bewußt . . .

. . . bis wir die erste monofone Aufnahme mit einem Tonbandgerät gemacht haben. Das Ergebnis klingt hallig, verwaschen, ohne Tiefe und ohne Richtung. Das Mikrofon ist eben „einohrig". Selbst wenn wir uns ein Ohr zuhalten, können wir das nicht ganz nach-

vollziehen. Durch die Hand und natürlich auch über die Knochenleitung dringt immer noch zu viel Schall zum abgedeckten Ohr vor. Da hilft auch kein Oropax. Leider wird dieser Lerneffekt oft von einen zweiten überdeckt: man hört zum erstenmal seine eigene Stimme. Das frustriert. Denn wir hören uns zum erstenmal so, wie uns die anderen hören, also nur über den Luftschall. Wieder ist es die Knochenleitung, die uns unsere Stimme anders einschätzen läßt. Bei fremden Stimmen aber fällt es auf, eben jenes völlige Fehlen von den Bezugspunkten, die für uns so natürlich sind. Und trotzdem blieb die Schallwidergabe runde achtzig Jahre monofon; die Zeit war noch nicht reif für die künstliche Stereofonie.

Ersparen wir es uns, die monofone Zeit schlechter zu machen, als sie es war; noch heute hören wir einkanalige historische Aufnahmen mit Genuß. Nicht jede auf Stereofonie gequälte Neuproduktion hält ihnen künstlerisch stand. Aber wir haben nun einmal zwei (hoffentlich) gesunde Ohren, die uns mehr hören lassen, als es ein einziges, wenn auch noch so gutes Mikrofon kann.

1.2 Was unser Gehör leistet

Stereofon zu hören, bedeutet nichts anderes als Richtungshören. Wie schon angedeutet, ist es uns nicht angeboren, wir müssen es erlernen, wenn auch unbewußt. Denn jedes unserer beiden Ohren hört etwas anders. *Abb. 1* zeigt uns dazu vier Oszillogramme, die an jenem künstlichen Kopf gemessen wurden, der heute soviel von sich reden macht. Und da sehen wir es ganz deutlich, genau von vorn ankommende Schallwellen hören beide Ohren gleich *(Abb. 1 a)*. Von einer Seite einfallende Schallwellen aber führen zu sehr unterschiedlichen Bildern. Das der Schallquelle zugewandte Ohr hört den Schall lauter und differenzierter, das der Schallquelle abgewandte Ohr leiser und auch mit sonstigen Einbußen. Zu diesem Ohr muß der Schall um den Kopf herumlaufen, und da geht eben einiges verloren, besonders im Freien, wie es bei diesem Versuch geschah und wo jedweder Hall fehlt.

Denn natürlich wissen wir inzwischen, daß der Kunstkopf so gut, wie es überhaupt nur möglich ist, dem menschlichen Kopf nachgebildet wurde. Mit dem Kunstkopf durchgeführte Experimente haben deshalb eine glaubwürdige Aussagekraft. Mit ihnen

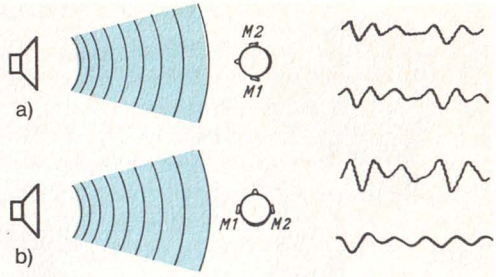


Abb. 1 Das sind Oszillogramme von mit einem Kunstkopf aufgenommenen Schallwellen. Bei a) wurden sie von vorn „gehört", bei b) seitlich

können wir beweisen, was schon früher durch statistische Methoden an vielen Hörern festgestellt wurde, nämlich, wie unser Richtungshören funktioniert.

Doch zuvor noch ein paar kurze Worte zum Kunstkopf *(Abb. 2)*. Er ist dem menschlichen Kopf von den Ohrmuscheln bis zu den Trommelfellen genau nachgebildet. Die Stellen der Trommelfelle nehmen etwa gleichgroße Membranen hochwertiger Kondensatormikrofone ein. Bis zu dieser eigentlichen Schallempfangsstelle im menschlichen Kopf herrschen also gleiche Verhältnisse. Der Rest ist für die Messungen ohne Belang – und auch bei der Schallwiedergabe, wenn man einmal davon absieht, daß die Membranen von Kopfhörern zwangsweise am äußeren Ende des Gehörganges sitzen. Wir kommen darauf noch zurück.

Der Meßaufbau ist üblich: Den Kondensatormikrofonen folgen breitbandige Verstärker ohne störenden Frequenzgang, und das Zweistrahloszilloskop hat eine ebenfalls ausreichende Bandbreite.

Empfangen wird in Abb. 1 der Vokal „o". Bei Schalleinfall von vorn sind die beiden Kurven deckungsgleich: Empfangsintensität und Phasenlage zeigen also keine Unterschiede. Anders im anderen Extremfall, den von einer Seite empfangenen Schall: weder Amplitude noch Phasenlage stimmen überein. Und noch eines kommt hinzu, wir hören und sehen im Bild auch noch einen Klangfarbenunterschied. Der ist weiter nicht verwunderlich; die einzelnen Teiltöne, die den Klang verursachen, werden eben unterschiedlich um den Kopf herum gebeugt, und die Richtwirkung der Ohrmuscheln tut ein übriges. Unterschiedliche Intensität,

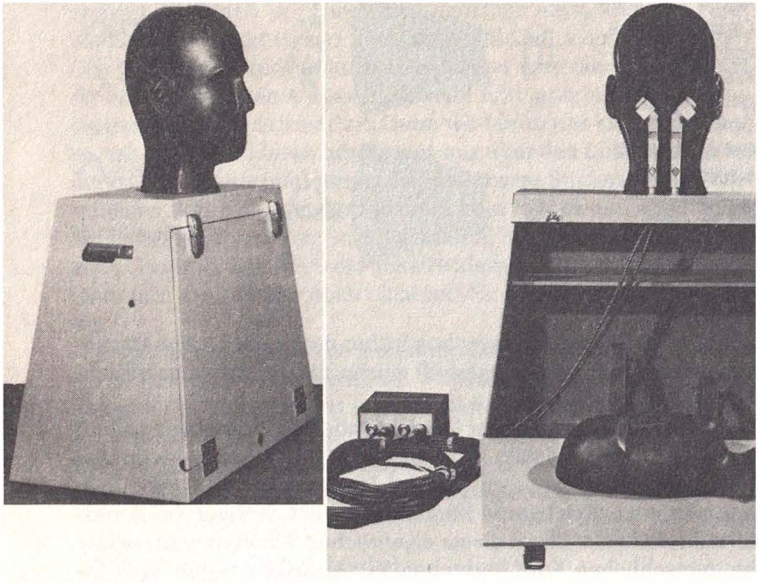


Abb. 2 So sieht der professionelle Neumann-Kunstkopf von außen und von innen aus

Phasenlage und Klang aber lassen uns deutlich die Richtung – und, in Grenzen, auch die Entfernung – erkennen, aus der der Schall kommt. Zur Entfernung muß noch gesagt werden, daß sie uns um so größer zu sein scheint, je weniger hohe Niederfrequenzen wir hören. Denken Sie einmal an die wegmarschierende Kapelle eines Festzugs, dann erinnern Sie sich daran, daß Sie die Baßtuben und die große Trommel am längsten vernehmen konnten.

Ja, und noch eines kommt hinzu. Wir benutzen natürlich unsere Augen, um die Schallquelle genau zu lokalisieren. Doch das gilt hier nicht, bei der elektroakustischen Wiedergabe werden sie, vorerst noch, betrogen. Das hat jedoch noch nie die Zuhörer davon abgehalten, im Konzertsaal die Augen zu schließen, um die Musik noch konzentrierter zu genießen.

1.3 Wie wir die Richtung lokalisieren

Richtungs- und Entfernungshören sind schon frühzeitig untersucht worden. Betrachten wir dazu *Abb. 3*. Unschwer ist darin zu erkennen, daß schräg von vorn rechts einfallender Schall zum linken Ohr eine längere Strecke durchlaufen muß, als zum rechten. Und dieser längere Weg bedingt den Laufzeitunterschied d, der gleich dem Umweg l geteilt durch die Schallgeschwindigkeit c ist, also $d=\frac{l}{c}$. Setzt man für den Ohrenabstand D gleich 16,5 cm ein – das trifft ausreichend genau für die meisten Menschen zu –, so ergibt sich bei einer Schalleinfallsrichtung von 90° nach Abb. 1 eine Wegdifferenz, also ein Umweg, von 21 cm entsprechend einer Zeitdifferenz von 0,63 ms. *Abb. 4* gibt uns nun diesen Laufzeitunterschied als Funktion des Schalleinfallwinkels an. Diese Kurve ist errechnet; Tests mit Knackgeräuschen ließen jedoch erkennen, daß Theorie und Praxis hinreichend genau übereinstimmen. Das funktioniert sogar mit reinen Sinusströmen, allerdings nur

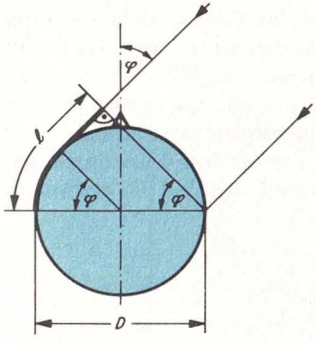


Abb. 3 Durchmesser D eines Kunstkopfes, Schalleinfallwinkel φ gegen die Symmetrieachse und Schallwegdifferenz l. Die Verhältnisse gleichen denen beim menschlichen Kopf – bis auf's Haar

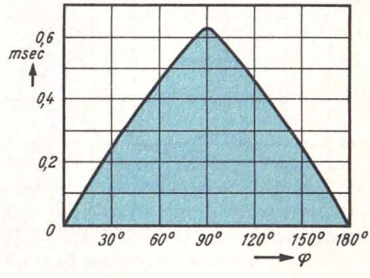


Abb. 4 Hier haben wir die Durchschnittswerte aus Berechnungen des Laufzeitunterschiedes c als Funktion des Winkels φ

mit Frequenzen oberhalb von 800 Hz. Bei niedrigeren läßt die Fähigkeit, den Schalleinfallswinkel aus den Laufzeitunterschieden zu deuten, merklich nach, und sie verliert sich unterhalb von 300 Hz vollständig. Hier wird der Ohrenabstand sehr viel kleiner als die Schallwellenlänge, die bei 300 Hz etwa 1,1 m ist. Und das hat praktische Konsequenzen.

Natürlich sind diese Frequenzen nur Anhaltswerte, es ist nicht so, daß nun genau bei 300,000 Hz Schluß ist. Denn jetzt reagieren wir auf die Phasenunterschiede. Die beginnen bei etwa 800 Hz als oberste Frequenz. Da sind die erwähnten 21 cm Umweg bei 90° Schalleinfallswinkel recht genau gleich der halben Schallwellenlänge.

Diese aber entspricht dem Abstand von zwei Nulldurchgängen. Demnach also werden die Phasenunterschiede erst bei darunterliegenden Tönen deutlich. Zusätzlich spielen bei der Ortung noch die Erholungszeiten der Gehörnerven (0,8 ... 1,2 ms) eine Rolle. Wenn wir trotzdem hinauf bis zu etwa 1200 Hz Laufzeitunterschiede zu deuten vermögen, so spricht das für unsere Erfahrung. Oberhalb dieser etwas fließenden Grenze aber reagieren wir nur noch auf Intensitäts- und Klangunterschiede. Da macht sich eben die Abschattung durch unsere Kopfform bemerkbar, denn jetzt werden die Schallwellen so klein, daß wir sie mit den Größen von Kopf und Ohrmuscheln vergleichen können.

F. M. Wiener hat im Jahre 1947 interessante Messungen gemacht, die in *Abb.* 5 wiedergegeben sind. Das sind in Terzbreiten

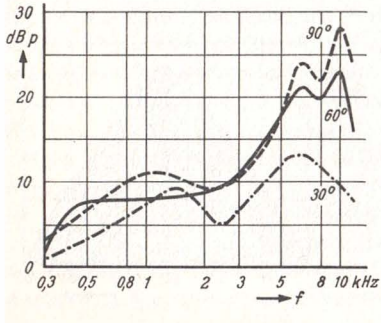


Abb. 5 Bei unterschiedlichen Schalleinfallswinkeln ergeben sich stark frequenzabhängige Intensitätsunterschiede zwischen beiden Ohren, hier als das Ergebnis objektiver Messungen

(gleich einer drittel Oktave) ermittelte Intensitätsunterschiede über die Frequenz. Man erkennt sehr gut, wie mit wachsendem Schalleinfallswinkel und steigender Frequenz die Lautstärkenunterschiede zwischen den beiden Ohren wachsen. Interessanterweise stimmen hier Rechnung und Experiment ziemlich schlecht überein, aber man muß eben deutlich zwischen sinusförmigen Meßtönen und nichtperiodischen Schallereignissen unterscheiden, zu denen auch das immer wichtiger werdene Rauschen in Oktavabschnitten gehört.

Eine weitere Fehlerquelle ist die Frequenzabhängigkeit unseres Gehörs bei unterschiedlichen Schalldrücken. Wir kennen sie als Ohrempfindlichkeitskurven *(Abb. 6)*, die uns bei der Lautstärkeneinstellung von Wiedergabeverstärkern soviel Kummer machen. Lassen wir es deshalb bei den bis hier gemachten Erkenntnissen bewenden. Sie helfen uns ein ganz schönes Stück weiter.

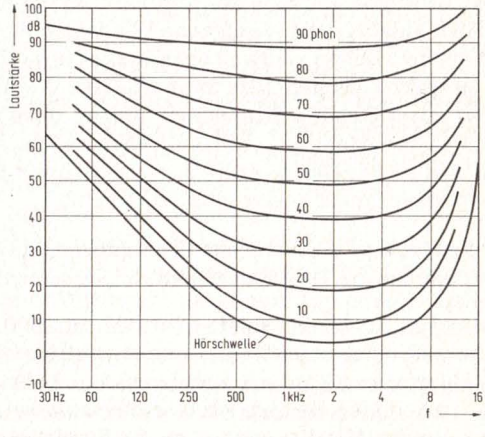


Abb. 6 Das sind die bekannten Ohrempfindlichkeitskurven. Aus ihnen lesen wir ab, welche Lautstärke bei den verschiedenen Frequenzen notwendig ist, um in unserem Gehör die gleiche Lautheitsempfindung auszulösen. Neuere Messungen zeigen einen flacheren Anstieg bei den Höhen. Die Schmerzschwelle liegt bei etwa 130 Phon.

2 Hi-Fi

Kurz nach dem zweiten Weltkrieg ließen es die sinkenden Bauelementepreise erstmals zu, die Wiedergabequalität soweit zu verbessern, daß sie der Qualität ähnlich wurde, die man in den Rundfunk- und Schallplattenstudios schon längst zum Standard „erhoben" hatte. Der eigentliche Durchbruch aber kam – zumindest in der Bundesrepublik Deutschland – mit der Einführung des UKW-Rundfunks und der Langspiel-Schallplatte. Beide noch in Mono, versteht sich. Aber hochqualitative Wiedergabe ist ja auch monofon möglich, nur fehlt eben dann die Zuordnung der Richtung, aus der der Schall kommt. Doch die ist auch bei vielen Stereoaufnahmen undeutlich, oft wegen bestimmter künstlerischer Gesichtspunkte durchaus gewollt.

Etwa um die gleiche Zeit wurde auch der Begriff Hi-Fi in Europa bekannt. Er wurde, wie so vieles, aus den USA importiert und bedeutet High-Fidelity, zu deutsch hohe Wiedergabetreue. Ohne gleich auf die inzwischen weltweit anerkannte Norm DIN 45 500 eingehen zu wollen, versteht man unter Hi-Fi die Wiedergabe all dessen, was unser Gehör aufzunehmen vermag, ohne davon etwas wegzunehmen oder hinzuzufügen. Daß diese Maximalforderung nicht in allen Punkten zu erfüllen ist, hat Gründe. Unser Gehör ist eben immer noch besser als alle Technik.

Doch sehen wir uns die einzelnen Bedingungen, die unser Gehör diktiert und die die Technik erfüllen soll, einmal genauer an:

Frequenzbereich: Am besten steht es mit dem zu übertragenden Frequenzbereich. Unser Gehör erfaßt da etwa 16 Hz bis 16 kHz; die obere Hörgrenze nimmt mit zunehmendem Alter ab. Technisch läßt sich dieser Bereich ohne größere Schwierigkeiten übertragen, nur die Wandler machen an den Bereichsenden einige Schwierigkeiten. Das sind also die Mikrofone, Tonabnehmer, Tonköpfe und Lautsprecher sowie die zu den beiden mittleren gehörenden Tonträger Schallplatte und Tonband. Am deutlichsten wird es bei den Lautsprechern. Ganz oben und ganz unten im zu

übertragenden Frequenzbereich fällt es ihnen nicht mehr leicht, die elektrischen Signale in intensitätsproportionalen und auch sonst unverzerrten Schall umzuwandeln. Ganz abgesehen davon, daß es natürlich auch dazwischen viele Probleme gibt, die den Lautsprecherherstellern das Leben erschweren. Doch es wird daran gearbeitet, alle diese Probleme zu lösen. Leider steigen die Preise schneller als die jeweils erreichte Qualität.

Und noch eines kommt hinzu: Wenn wir auch Sinustöne oberhalb von 16 kHz nicht mehr hören, so hat es sich doch gezeigt, daß wir elektroakustisch wiedergegebene Musik als natürlicher empfinden, wenn die Wiedergabeanlage mehr als die besagten 16 kHz überträgt. Deshalb können Spitzenanlagen eben auch noch darüber hinaus.

Dynamik: Damit sieht es weitaus schlechter aus, denn unser Hörbereich umfaßt sieben Dekaden (Zehnerpotenzen) Schalldruck, also 140 dB. Brummen und Rauschen in allen Teilen der Aufnahme- und Wiedergabeanlagen lassen jedoch einen derartigen Dynamikumfang nicht zu. Doch da können wir getrost einige Abstriche machen, denn erstens spielt kein Orchester so laut, daß die Schmerzschwelle *(Abb. 6)* erreicht wird, und zweitens ersehen wir aus den gleichen Kurven, daß für hohe Töne (Rauschen) und tiefe Töne (Brummen) viel höhere Schalldrücke erforderlich sind, um sie überhaupt noch oder aber im leiseren Bereich der mittleren Töne mit der gleichen Lautstärke zu hören. Deshalb wird die nutzbare Dynamik, der Nebengeräuschspannungsabstand, bei den Messungen auch nach der 60-dB-Kurve in Abb. 6 bewertet. Die heute um 60 dB liegenden Werte der Nutzdynamik bei elektroakustischer Wiedergabe aber sind immer noch kleiner als die bis zu 80 dB reichenden Lautstärkeunterschiede mancher Orchesterwerke. Deshalb – und natürlich auch aus anderen Gründen – bedarf es bei allen Aufnahmen grundsätzlich der Toningenieure, die diese Dynamik auf das Übertragbare einengen. Neue Aufnahmeverfahren, wie das impulscodemodulierte (Video-) Tonband, schaffen da allerdings sehr deutliche Verbesserungen. Und als letzter Trost sei noch vermerkt, daß nur wenige die volle Orchesterlautstärke im eigenen Heim wiedergeben dürfen. Sie haben keine so engen Nachbarschaften.

Nichtlineare Verzerrungen: Im Gegensatz zu den linearen Verzerrungen, die Abweichungen in den Lautstärken der einzelnen Töne oder Tonbereiche gegenüber denen der Bezugsfrequenz 1 kHz bedeuten, sind nichtlineare Verzerrungen jene Dinge, die im Original nicht vorhanden waren und erst bei der Wiedergabe hinzukommen, also Klirrgrad und Intermodulationen. Kurz gesagt, bedeutet Klirrgrad das Hinzukommen von harmonisch liegenden Obertönen, also 2f, 3f und so weiter bis nf, während Intermodulationen nichtharmonische Mischtöne verursachen, wie f1+f2 und f1-f2 und so fort. Hier läßt sich, besonders bei den Verstärkern, Erstaunliches erreichen. So gelingt es bei Spitzenverstärkern, den Klirrgrad, selbst bei Nennleistung, bis unter 0,01% zu drücken. Schlechter sieht es bei den Wandlern aus, aber gute Exemplare bleiben noch unter jenem einen Prozent, das (bei Sinustönen!) als Hörbarkeitsgrenze gilt. Da diese Verzerrungen jedoch nur auf schmale Frequenzbereiche beschränkt sind, fallen sie weniger auf; und so ist es möglich, mit Lautsprecherboxen, die selbst einige Prozent Klirrgrad produzieren, noch festzustellen, ob ein Verstärker 0,1% oder nur 0,01% Klirrgrad abgibt.

DIN 45 500 ist die Hi-Fi-Norm weniger des Mach- als des Bezahlbaren. Sie wird deshalb von vielen als zu „zahm" angesehen. Wir sollten darüber aber nie vergessen, daß sie es war, die den Hi-Fi-Gedanken bei den breiten Massen durchgesetzt hat. Erst dadurch wurden die Hi-Fi-Anlagen, auch die sehr viel höherwertigen, so preisgünstig, wie sie heute angeboten werden.

Die wichtigsten Werte der DIN 45 500 sind in der folgenden *Tabelle* zusammengefaßt. Sie enthält aber auch Werte für zulässige Geschwindigkeitsabweichungen und Gleichlaufschwankungen, denn bei allen Tonaufzeichnungs- und wiedergabeverfahren, also bei der Schallkonservierung, ist Mechanik mit im Spiel – da wird etwas gedreht. Und auch diese Abweichungen vom Original empfindet unser Gehör recht deutlich als Tonhöhenänderungen, als Jaulen bis Wimmern.

Ja, und jetzt bleibt nur noch die Phasenlinearität zu erwähnen. Obwohl schon seit der Zeit vor dem letzten Krieg bekannt, haben diese Phasenbeziehungen, die unser Gehör durchaus registriert, in der Norm noch keinen Platz gefunden. Das ist nicht weiter ver-

Die wichtigsten Daten der HiFi-Geräte-Norm (DIN 45500)

	Tuner	Plattenspieler	Magnetbandgeräte	Mikrofone	Verstärker	Lautsprecher
Klirrfaktor	≦ 2% bei 1 kHz 40 kHz Hub		3% bei 333 Hz Vollaussteuerung	< 1% bei 100 µb 250...8000 Hz	≦ 1% (1*) 40...12500 Hz	3% bei 250...1000 Hz < 1% ab 2000 Hz
Intermodulation		< 1% Frequenz-intermodulation bei – 6 dB			3% mit (2*) 250 + 8000 Hz	
Kanalungleichheit	≦ 3 dB 250...6300 Hz	≦ 2 dB bei 1 kHz		≦ 3 dB 250...8000 Hz	≦ 3 dB 250...6300 Hz	
Übersprech-dämpfung	≧ 26 dB 250...6300 Hz ≧ 15 dB 6300...12500 Hz	≧ 20 dB bei 1 kHz ≧ 15 dB 500...6300 Hz	> 60 dB bei Mono > 20 dB bei Stereo		> 40 dB, 1 kHz > 30 dB bei 250...10000 Hz	
Fremdspannungs-abstand	≧ 46 dB	35 dB	> 43 dB		> 50 dB (bei 100 mW Gesamtleistung)	
Geräuschspannungs-Abstand	≧ 54 dB	Rumpeln > 55 dB	> 48 dB			
Geschwindigkeits-abweichungen		+ 1,5% – 1,0%	≦ ± 1,5%			
Gleichlauf-schwankungen		± 0,2%	± 0,2%			

(1*) bei Leistungsabfall auf 50% an den Bereichsenden (2*) bei Vollaussteuerung Amplitudenverhältnis 4:1

wunderlich, weil leider jede Klangeinstellung die Phasenlage verschiebt. Noch schlimmer sieht es bei den Lautsprechern aus. Inzwischen haben aber gerade die Lautsprecherboxen-Hersteller erkannt, wie wichtig Phasenlinearität ist. Nicht zuletzt bei Stereowiedergabe. Und es gibt schon viele Boxen, bei denen auf sie geachtet wurde.

3 Stereo

Wer da glaubt, Stereofonie sei eine recht neue Erfindung, der irrt. Schon 1881 wurde von Clement Ader eine Oper stereofon übertragen. *Abb. 7* zeigt das Originalschaltbild zu der Übertragung, so wie es O. Eichhorst in der Zeitschrift „Frequenz" in Heft 9/1959 veröffentlicht hat. Jedes Paar der damals benutzten Kohlemikrofone speiste acht Doppel-Kopfhörer, ihre Muscheln waren hintereinander geschaltet. Ein Zeitgenosse, E. Hospitalier, berichtete darüber:

„Sobald die Übertragung beginnt, placieren sich die Darsteller im Geist des Zuhörers auf eine feste Entfernung, die einen zur Rechten, die anderen zur Linken. Es ist leicht, ihren örtlichen Änderungen zu folgen, und jedesmal ist, wenn sie zur Seite wechseln, genau die imaginäre Entfernung anzugeben, in der sie sich untereinander zu befinden scheinen. Das ist offenbar eine sehr seltsame Erscheinung, sie ist nahe mit der Theorie des beiderseitigen Hörens verwandt und überdies noch niemals vor Ader, wie wir glauben, angewendet worden, um diese als eine der markantesten Illusionen zu erzeugen, der man in gewisser Weise den Namen Gehörperspektive (perspective auditive) geben kann . . ."

Doch dann blieb es vierzig Jahre lang ruhig, die Sache war in Vergessenheit geraten. Nächste Berichte sprechen zwar von stereofonen Übertragungen aus dem Königlichen Opernhaus in Berlin (1912) und aus der Münchner Oper (1925), Bedeutung erlangten diese Experimente jedoch nicht. Erst 1935 wieder befaßten sich Fletcher und Leopold Stokowski (Bostoner Symphonie-Orchester) mit der „Verdoppelung" von Konzerten; sie übertrugen sie vom Aufführungssaal zu einem zweiten, entfernt liegenden.

Vier Jahre später schon wurde etwas entwickelt, das in seiner vollen Tragweite erst 1973 erkannt wurde. In den Laboratorien von Philips in Eindhoven arbeiteten K. de Boer und R. Vermeulen an dem sehr lobenswerten Problem, Schwerhörigen das Leben zu erleichtern. Was dabei herauskam, zeigt *Abb. 8*. Die Ähnlichkeit mit Abb. 2 ist nicht zu verkennen. Charmanterweise modellierten

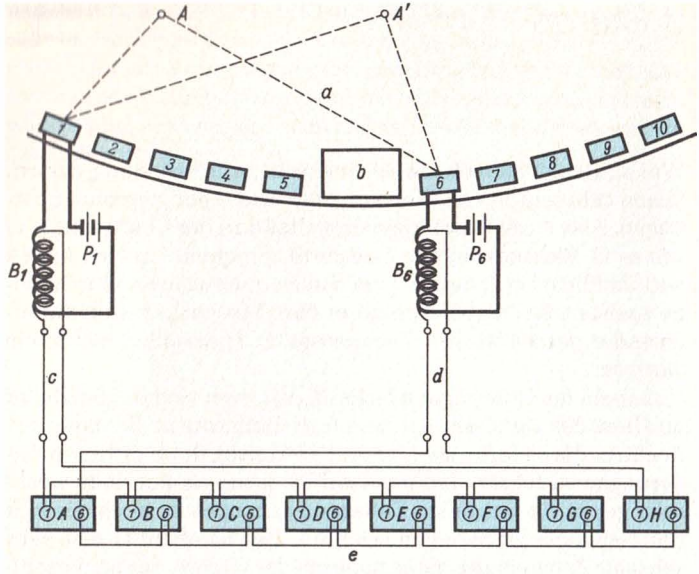


Abb. 7 Und dies ist nun das Originalschaltbild der Mikrofon- und Höreranordnung bei der Stereo-Übertragung aus der großen Oper in Paris im Jahr 1881. Jedes Mikrofonpaar mit Batterie P 1 bzw. P 6 und Übertrager B 1 bzw. B 6 speiste eine Hörergruppe, hier die von A bis H. Es gab fünf Mikrofonpaare und je etwa 1000 m Verbindungsleitungen, wie c und d, zum Abhörraum. A und A' deuten die veränderlichen Standorte der Sänger an, b ist der Souffleurkasten.

die Holländer einen weiblichen Kopf, unverkennbar im Stil seiner Zeit. Nun, der Krieg setzte der Entwicklung ein rasches Ende und sie geriet in Vergessenheit, bis 1973. Im gleichen Labor aber wurde nach dem Kriegsende an der stereofonen Übertragung von Saal zu Saal weitergearbeitet. Wie, geht aus *Abb. 9* hervor. Aus der Überlegung heraus, daß die bisherige Einkanalübertragung die Zuhörer nicht zufrieden stellte, wurde eine Anzahl Mikrofone vor das Orchester gehängt, von denen jedes über einen eigenen Verstärker einen Lautsprecher betrieb, der in einem zweiten Saal an der gleichen Stelle stand, die im ersten Saal das Mikrofon einnahm.

Abb. 8 Einfach chic, im Stil des Jahres 1938, ist der erste „echte" Kunstkopf (Werkaufnahme Philips)

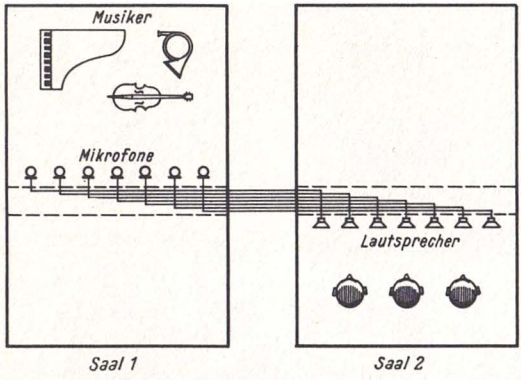


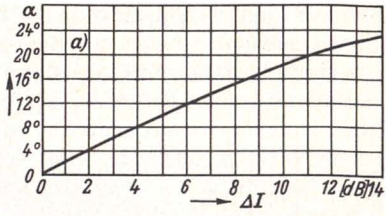
Abb. 9 So wurde mit im Bild gerade sieben Übertragungskanälen experimentiert, bevor man merkte, daß zwei ausreichen

Dabei nahm man an, daß die Wiedergabe um so besser sein müßte, je mehr Übertragungskanäle gewählt würden, was ja schließlich logisch zu sein schien.

In langwierigen Versuchsreihen wurde schließlich festgestellt, daß zwei Übertragungskanäle voll ausreichen, weil bei richtiger Mikrofon- und Lautsprecheranordnung die „virtuellen" (scheinbaren) Schallquellen auch zwischen diesen beiden Lautsprechern zu hören sind.

R. Vermeulen, der an diesen Untersuchungen wesentlichen Anteil hatte, erkannte, daß zwei Kanäle ein deutlicheres und „schärferes" Schallbild erzeugen als eine Vielzahl von Kanälen. Er war es auch, der eine Mikrofonaufstellung im Ohrenabstand als am günstigsten fand, wobei die Mikrofone selbstverständlich in verschiedene Richtungen horchten. So stellt man die Mikrofone auch heute noch auf – und einige noch dazu. Mehr darüber folgt im nächsten Abschnitt.

Also nur zwei Übertragungskanäle. Warum wir den aus ihren Lautsprechern kommenden Schall überhaupt orten können, hängt mit dem von den Fachleuten der elektroakustischen Technik als Summenlokalisation bezeichneten Phänomen zusammen: wir hören die Intensitäts- und Laufzeitunterschiede der von bei-



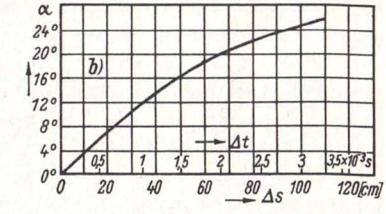


Abb. 10 a) zeigt, wie sich Intensitätsunterschiede und b), wie sich Laufzeitunterschiede zwischen den beiden Stereolautsprechern auf den vom Gehör empfundenen – und auf die Mitte zwischen den Lautsprechern bezogenen – Schalleinfallswinkel auswirken

den Lautsprechern kommenden Schallereignisse. Und zwar hören wir die scheinbare Schallquelle aus der Mitte zwischen beiden Lautsprechern, wenn beide das völlig gleiche abstrahlen (Monoübertragung). Vorausgesetzt, wir sitzen oder stehen in der Mitte vor beiden Lautsprechern, am besten so, daß der Hörabstand von der Basis genannten, gedachten Linie zwischen den beiden Lautsprechern gleich der Basisbreite, also dem Abstand der beiden Lautsprecher voneinander ist. Das ist übrigens der für Stereowiedergabe ohnehin den meisten Genuß bescherende Platz.

Tönt nun der eine Lautsprecher intensiver oder strahlt er den Schall zeitlich vor dem des anderen Lautsprechers ab, so verschiebt sich die virtuelle Schallquelle auf den lauteren oder schnelleren zu. Wie weit, lassen die *Abb. 10 a und b* erkennen. Auch diese wurden von Philips in Versuchsreihen ermittelt. Sie berücksichtigen jedoch nicht die Hallanteile in den gegenüber den Aufführungssälen kleinen Wiedergabe(Wohn-)räumen.

Die Hallanteile fallen natürlich weg, wenn wir Kopfhörer aufsetzen. Tun wir's einmal zum Spaß. Was wir nun erleben, verblüfft nicht wenig. Jetzt sitzen wir nämlich scheinbar mitten im Orchester. Und außerdem hören wir die Musik in seltener Klar-

heit und Reinheit. Einschließlich aller Fehler, die die Musiker machen. Denn auch sie sind nur Menschen. Aber nun fehlt eben der gewohnte Abstand zum Orchester. Trotzdem wird die Kopfhörerstereofonie immer beliebter. Wir können nämlich „voll aufdrehen", ohne unsere Mitmenschen zu stören. Dieser Vorteil führte zur Entwicklung immer besserer Kopfhörer, so daß wir auch ihre weiteren Vorzüge voll ausnutzen können. Zu ihnen gehört natürlich auch der im Vergleich zu guten Lautsprecherboxen niedrigere Preis, ganz abgesehen davon, daß für sie keine teuren Leistungsverstärker benötigt werden.

Noch einen Schritt weiter führt uns die schon mehrfach erwähnte Kunstkopfstereofonie. Sie verwirklicht das „echte" räumliche Hören. Bis auf die Kleinigkeit, daß es vielen Mitmenschen nicht leicht fällt, dabei vorn und hinten (in der Schalleinfallsrichtung) zu lokalisieren. Diese Tatsache, und weil es immer noch nicht gelungen ist, Kunstkopfstereofonie über Lautsprecher wiederzugeben, sind daran schuld, daß es so wenige Konserven (Schallplatten, Tonbänder) mit Kunstkopfaufzeichnungen gibt. Bei Kopfhörern drückt eben auf die Dauer nicht nur der Preis.

4 Wie Stereo aufgenommen wird

Natürlich kann man Stereoübertragungen genießen, auch ohne zu wissen, wie sie aufgenommen wurden. Erfahrungsgemäß ist ein Genuß aber umso größer, je mehr man über die damit zusammenhängenden Dinge weiß. Eine Ausnahme davon mögen Trickfilmszenen sein; hier verdirbt zuviel Wissen die Illusion. Diese Gefahr besteht bei Musikübertragungen jedoch kaum.

Am Anfang stand – und wir lasen es schon – die Kunstkopfstereofonie. Nur war man sich dessen noch nicht bewußt. Und als der Schall dann über Lautsprecher abgestrahlt wurde, geriet das damit zu hörende Raum-„bild" schnell in Vergessenheit, falls man es je bewußt wahrgenommen hatte. Dem war anscheinend nicht so, denn sonst hätte die Kunstkopfstereofonie Anfang der 70er Jahre dieses Jahrhunderts nicht so fröhliche Urstände gefeiert. Sie wurde zu dem Geschäft für die Kopfhörerhersteller; ganz besonders für einen, der wirksam und erfolgreich die Werbetrommel gerührt hatte.

Immerhin, aus der kopfbezogenen Mikrofonanordnung entstand direkt die A/B-Stereofonie.

4.1 A/B-Stereofonie

Charakteristisch für die A/B-Stereofonie ist, daß sie sowohl die Intensitäts- als auch die Laufzeitunterschiede überträgt. Die Klangunterschiede ohnehin, denn das darf man von guten Mikrofonen ja wohl erwarten. Aufgenommen wird mit (mindestens) zwei Mikrofonen, die meistens Nierencharakteristik haben, und die in zwar unterschiedlichem, aber deutlichem Abstand voneinander aufgestellt werden *(Abb. 11)*. Mit mehr als zwei Mikrofonen lassen sich die Solisten besser „herausholen" und mit Richtungseinstellern am Stereomischpult bestimmte Effekte erreichen. Weil bei der A/B-Stereofonie der Mikrofonabstand beliebig gewählt werden kann, ist sie die bevorzugte Aufnahmeart der Tonbandamateure. Sie wissen aus Erfahrung, damit vorzügliche Eigenaufnah-

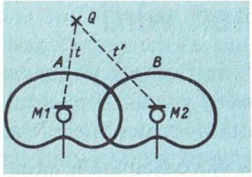


Abb. 11 So wirkt sich die Laufzeit bei A/B-Stereofonie aus. Von der Schallquelle Q benötigt der Schall zum linken Mikrofon M 1 die Zeit t und zum rechten Mikrofon M 2 die längere Zeit t'

men zu machen. Und weil bei der A/B-Stereofonie besonders die Laufzeitunterschiede ausgenutzt werden, entstanden mit ihr viele ausgezeichnete Schallplattenaufnahmen. Sie hatten nur einen Nachteil: es haperte mit der Kompatibilität bei Monowiedergabe. Deshalb ging man in den Aufnahmestudios bald zur Intensitätsstereofonie über. Kenner aber hüten ihre in A/B-Stereofonie aufgenommenen Schallplatten heute als einen Schatz. Nie mehr klangen die Schallplatten so durchsichtig.

4.2 Intensitätsstereofonie

Wie es schon der Name sagt, werden dabei nur die Intensitätsunterschiede aufgenommen, die Laufzeitunterschiede jedoch unterdrückt. Nichts einfacher als das; man stellt die beiden Aufnahmemikrofone schlicht übereinander und läßt sie in unterschiedliche Richtungen horchen. Daß die Ortungsfähigkeit durch das Fehlen der Laufzeitunterschiede nicht beeinträchtigt wird, wie uns die Produzenten weismachen wollen, ist ein frommes Märchen; auch wenn wir wissen, daß oberhalb von etwa 800 Hz bis 1000 Hz doch nur nach Intensitätsunterschieden geortet wird. Aber letztlich entscheiden bei den Aufnahmen künstlerische Gesichtspunkte, die Toningenieure beherrschen zudem ihre Technik perfekt, so daß trotzdem viele exzellente Aufnahmen entstehen.

Wenn schon zwei Mikrofone übereinander, dann auch gleich im gleichen Gehäuse. Das ist einfacher und billiger und erspart zusätzliche Denkarbeit beim Ausrichten. Dafür gibt es nun zwei Methoden: entweder nimmt das eine Mikrofon die Mitte und das andere die Seiten auf *(Abb. 12, M/S-Stereofonie)*, oder aber zwei Mikrofone mit gleicher Nierencharakteristik nehmen in zur Hauptachse beliebig einstellbaren Winkeln auf – üblich sind 90° bis 110° zueinander und mehr *(Abb. 13, X/Y-Stereofonie)*. Dementsprechend haben die Mikrofone für M/S-Stereofonie Nierencha-

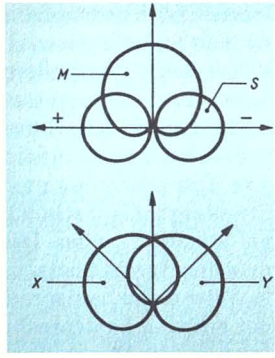


Abb. 12 Für M/S-Intensitäts-Stereofonie werden je ein Mikrofon mit Nierencharakteristik und mit Achtercharakteristik benötigt

Abb. 13 Für X/Y-Stereofonie reichen zwei übereinandergeschraubte und gegeneinander verdrehte Mikrofone mit Nierencharakteristik aus

rakteristik (Mittenmikrofon) und Achtercharakteristik (Seitenmikrofon). Daß die Mikrofone übereinstimmende Frequenzgänge und bei X/Y-Stereofonie auch Richtcharakteristiken – und diese über den gesamten Übertragungsbereich – haben müssen, versteht sich von selbst.

Interessant ist, daß beide Methoden physikalisch gleich sind. Sie lassen sich ineinander überführen nach den einfachen Gleichungen

$$M + S = X$$
$$M - S = Y \text{ und}$$
$$X + Y = M$$
$$X - Y = S$$

Darin sind X die Linksinformation und Y die Rechtsinformation beziehungsweise M die Mitteninformation und S die Seiteninformation. Und weil M sowie X + Y zugleich das Monosignal sind, ist die gefürchtete Kompatibilitätsforderung erfüllt. Sie wissen es natürlich, Kompatibilität heißt Verträglichkeit und ist bekannt vom Fernsehen, in dem Farbempfänger auch Schwarzweißsendungen wiedergeben können müssen und Schwarzweißempfänger ebenfalls Farbsendungen, nur dann eben unbunt.

4.3 Pseudostereofonie

Musikliebhabern braucht es nicht mehr gesagt zu werden: auch unsere Altvorderen waren Könner, was die Musik betrifft. Manche von ihnen so große, daß ihre Aufnahmen – natürlich in Mono

– heute höchste Liebhaberpreise erzielen. An den wirklich historischen Aufnahmen wird in Punkto Stereo glücklicherweise möglichst wenig manipuliert, dagegen werden aber verständlicherweise für die Neupressungen historischer Aufnahmen das Rauschen und die Knackser herausgeholt und unterdrückt; und natürlich wird auch versucht, den Übertragungsbereich zu erweitern. Das gelingt mit professioneller Technik oft erstaunlich gut. Etwas anrüchiger schon ist es, nicht ganz so alte Monoaufnahmen auf Stereo zu quälen. Dazu gesagt werden muß, daß auch dieses manchmal recht überzeugend gelingt. Primitiv ist es dagegen, einfach der einen Lautsprechergruppe vorwiegend die tieferen und der anderen Lautsprechergruppe vorwiegend die höheren Frequenzen der Monoaufnahme zuzuführen. Dies ergibt bestenfalls stereofonische Effekte, zu denen auch die übertriebene Betonung von links und rechts gehört, die sogenannte Ping-Pong-Stereofonie unseligen Angedenkens, mit der Anfang der 60er Jahre versucht wurde, Konsumenten zum Kauf von Stereoanlagen zu animieren.

Seriös dagegen sind die Versuche, das Gesamtklangbild über einen breitbandigen Hauptkanal und die Richtungsinformation über schmalbandige Hilfskanäle zu übertragen, denn das erspart Übertragungsbandbreite. Außerdem läßt sich informationstheoretisch nachweisen, daß es so gehen muß. Als Beweis dafür kann wieder das Farbfernsehen zitiert werden, bei dem ja der schmalere Farbkanal erfolgreich in den breiten Leuchtdichte-Übertragungskanal integriert wurde. Bis heute aber hat eine derartige Trickstereofonie noch keine Bedeutung erlangt.

4.4. Echte und Pseudo-Vierkanalstereofonie (Quadrofonie)

Daß sich die „echte" Quadrofonie noch immer nicht durchgesetzt hat, liegt weniger am Preis für die weiteren beiden Übertragungskanäle – nämlich links hinten und rechts hinten –, als vielmehr daran, daß der Rundfunk mangels Übertragungskanalbreite nicht mitmacht. Und nur Rundfunkquadrofonie brächte Schwung in dieses Geschäft, wie die Einführung der Stereofonie bewiesen hat. Daran ändert auch die Tatsache nichts, daß einige hundert

Quadro-Schallplatten in den Regalen der besseren Schallplattengeschäfte herumstehen und die Geräteindustrie ziemlich lustlos mehrere unterschiedliche Quadroanlagen anbietet. Denn es hat sich auch erwiesen, daß die beiden zur Zeit üblichen Codierungsverfahren für Quadro-Schallplatten, das SQ- und das CD-4-Verfahren, noch nicht der Weisheit letzter Schluß sind.

Schuld daran ist die mangelhafte Kanaltrennung, die beim SQ-Matrix-Verfahren zum Teil nur magere 3 dB erreicht und beim CD-4-Verfahren auch nur bestenfalls 20 dB. Trotzdem wird dieses Verfahren als „diskret" bezeichnet, wobei mit diskret keinesfalls „vertraulich" gemeint ist, sondern zahlenmäßig, also deutlich voneinander getrennt. Wer einmal eine wirklich diskrete Quadro-Aufzeichnung von einem Muttertonband gehört hat, weiß davon nur noch zu schwärmen.

Trotzdem wollen wir hier kurz auf die Quadrofonie eingehen, auf die „echte" und auf die Pseudo- sowie Quasiquadrofonie. Wobei das Wort Pseudo sofort erkennen läßt, daß getrixt wird und Quasi, daß es sich dabei um eine „So-gut-wie"- oder, besser „Sozusagen"-Quadrofonie handelt. Daß nämlich Quadrofonie noch eine Verbesserung der Stereofonie bringen muß, war allen Beteiligten bald klar. Sie bemerkten sehr schnell, den sogenannten „Rampeneffekt": die Musik klingt bei Stereofonie so, als ob die Zuhörer direkt vor einer Bühne säßen. Das akustische Geschehen bewegt sich auf der Linie zwischen den beiden Übertragungslautsprechern, als zweite Dimension kommt, falls gewünscht, noch eine gewisse Tiefenstaffelung hinzu. Doch dies ist schon sehr viel, wenn man daran denkt, daß bei Monowiedergabe alles nur aus einem Loch zu kommen scheint, oder aber, vornehmer ausgedrückt, daß man die Übertragung wie durch eine offene Tür, von der man noch dazu weit entfernt ist, aus dem Aufführungssaal hört. Was aber in jedem Fall noch fehlt, ist der Raumhall des Aufführungssaals, der ja bekanntlich sehr viel zur „Akustik" beiträgt. Nicht umsonst ist von der guten oder schlechten Akustik bekannter Aufführungssäle die Rede.

Also fügte man die schon erwähnten „hinteren" Übertragungskanäle hinzu. Das sieht dann so aus, wie in *Abb. 14*, wenn wir wiederum erst einmal von der direkten Übertragung ausgehen. Es sei gleich vorweggenommen, daß man auch hier Experimente mit

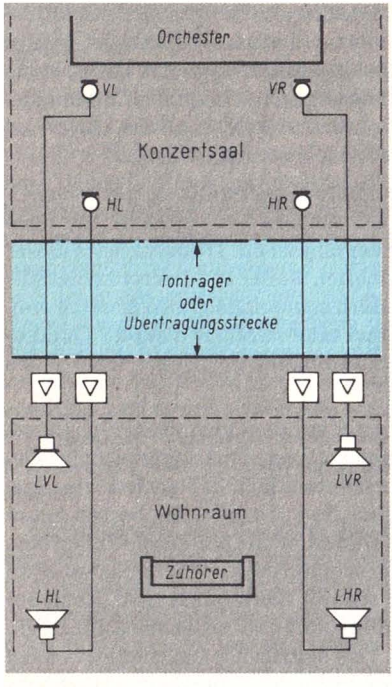


Abb. 14 So funktioniert die „echte" Quadrofonie am besten. Direkte Übertragung sichert absolute Kanaltrennung. Wenn aber erst einmal zwischengespeichert wird. . .

mehr als vier Übertragungskanälen unternommen hat. Und wiederum zeigte es sich, daß die Mindestanzahl völlig ausreicht. Das hängt einfach damit zusammen, daß wir seitlich nur dann gut orten können, wenn wir den Kopf drehen und auch von hinten einfallendem Schall bei unbewegtem Kopf nur undeutlich die Einfallsrichtung zuordnen. Nun, bei der seitlichen Zuordnung ist das nur zu verständlich, schließlich sitzen unsere Ohren ja nicht vorn und hinten am Kopf, sondern seitlich. Und was die rückseitige Ortung betrifft, so hat die Natur schon dafür gesorgt, daß unsere Ohrmuscheln mehr oder weniger nach vorn gerichtet sind. Wobei es allerdings noch nicht eindeutig erwiesen ist, daß Leute mit abstehenden großen Ohren richtungsempfindlicher hören als Normalgehörbürger.

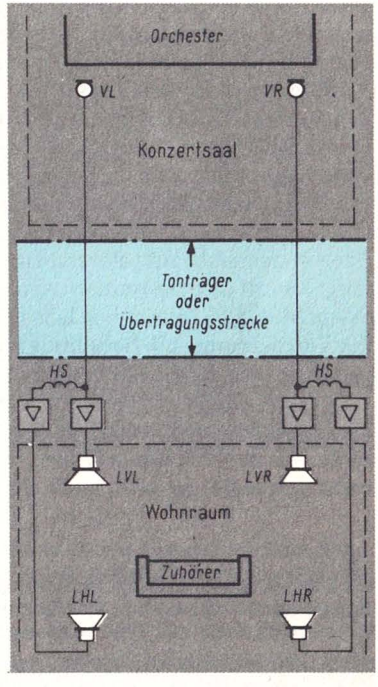


Abb. 15 Mit Verhallung läßt sich Pseudo-Quadrofonie erreichen

Heute läßt sich die Gemeinde der Musikliebhaber in zwei große Gruppen aufteilen, in die (vorwiegend) E-Musikhörer und in die (vorwiegend) U-Musikhörer. Wobei E für ernsthafte Musik steht und U für Unterhaltungsmusik. Als ob die U-Musiker ihre Arbeit nicht ebenfalls ernsthaft verrichteten. Aber diese Begriffe haben sich nun eben einmal so eingebürgert. Und bei den U-Musikliebhabern findet man auch die meisten, die kleinere oder größere Effekte – natürlich musikalische – schätzen. Sie empfinden es als schön, einmal auch von hinten von einer Trompete angeblasen zu werden, quasi also mitten im Orchester zu sitzen.

Ganz anders die Gruppe der E-Musikliebhaber. Durch Tradition daran gewöhnt, im Konzertsaal vor sich die Ausübenden und hinter sich die Raumakustik zu haben – die Zuhörer in den letzten

Reihen seien davon ausdrücklich ausgenommen – vermissen sie direkten Schall von hinten nur bei der Wiedergabe geistlicher Musik und der äußerst selten aufgeführten Werke für mehrere im Aufführungssaal verteilte Orchester. Den Raumhall aber kann man auch anders erzeugen, ausführlich nachzulesen in ELO 1975 Heft 3, Seite 22.

Da ist zunächst einmal das Verfahren mit den künstlich erzeugten Hallanteilen für die rückwärtigen Lautsprecher, am einfachsten – und schlechtesten – mit Hallspiralen, wie in *Abb. 15*, am überzeugendsten mit elektronischer Verzögerung und Verhallung, wie mit dem bekannten „Acoustik Dimension Compiler" von Wega *(Abb. 16)*. Tatsächlich läßt sich schon bei der festeingestellten Verzögerung und Verhallung mit Hallspiralen bei der Wiedergabe von Opern und Kirchenmusik ein recht deutliches Raumgefühl erreichen, vorausgesetzt, man drosselt die Lautstärke der rückwärtigen Lautsprecher auf Werte, die dem Raumhall eher fühlen als deutlich hören lassen. Zuviel Schall von hinten irritiert nicht nur, sondern deckt auch alle Unfeinheiten der Hallspirale

Abb. 16 Mit so einem Gerät wie dem Acoustic Dimension Compiler, läßt sich schon einiges an Quadro-Effekten erreichen. Dafür muß man natürlich auch tief in die Tasche greifen (Werkaufnahme: Wega)

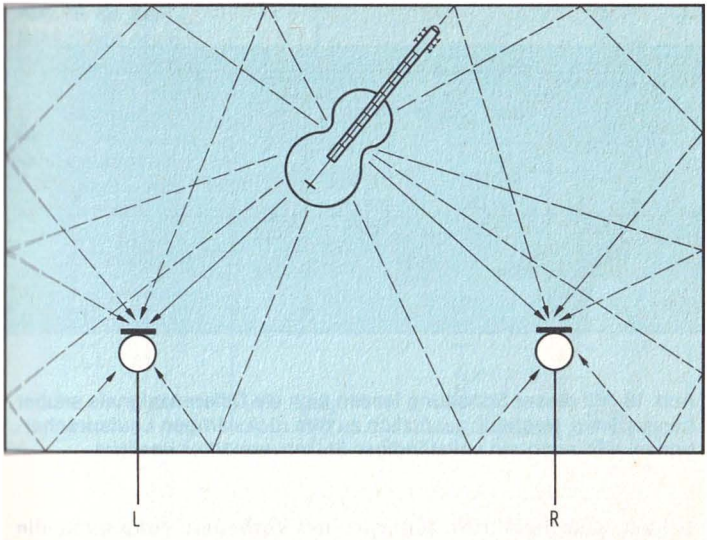


Abb. 17 Die Tatsache, daß der Raumhall über unterschiedlich lange Umwege zu den Mikrofonen gelangt, läßt sich für Pseudo-Quadrofonie ausnutzen

auf. Aber selbst mit dem Acoustic Dimension Compiler sollte man auf zuviel Schall von hinten verzichten. Den gibts im Konzertsaal ja schließlich auch nicht. In der Beschränkung zeigt sich der Könner und auch derjenige, der häufig Konzerte besucht. Denn Hi-Fi bedeutet ja, die Musik so originalgetreu wie möglich wiederzugeben.

Es gibt aber auch einen Weg, die von den Stereomikrofonen aufgenommenen natürlichen Raumhallanteile aus den Stereosignalen herauszulösen. Und der funktioniert so: die in *Abb. 17* skizzierten beiden Mikrofone fangen neben dem Direktschall auch die strichliert gezeichneten Raumhallanteile auf. Und die kommen meistens über ungleich lange Umwege; sie sind also an den beiden Mikrofonen unterschiedlich intensiv. Wenn es nun gelingt, nur die Intensitäts- und Phasendifferenzen über die rückwärtigen Lautsprecher zu übertragen, dann fällt der Direktschall weg, der ja in *Abb. 17* mit der gleichen Intensität und Phase auf die

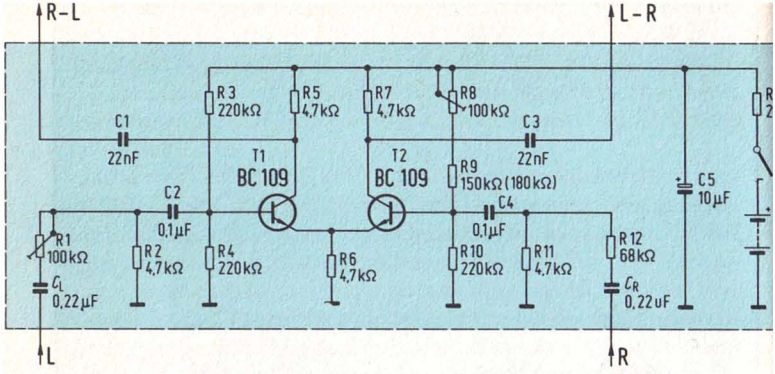


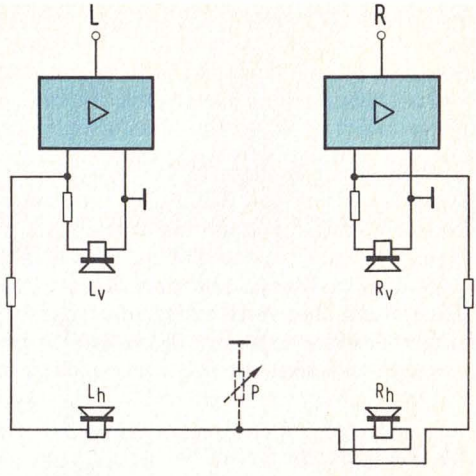
Abb. 18 Mit dieser Schaltung lassen sich die Differenzsignale sauber herauslösen. Nachteil: zusätzlich zu den rückwärtigen Lautsprecherboxen wird noch ein vollständiger Stereoverstärker benötigt

beiden Mikrofone trifft. Natürlich mit Vorbehalt, denn nicht alle Instrumente stehen so zentral wie in dieser Abbildung. Aber es funktioniert und gar nicht einmal schlecht.

Wie man daraus praktisch etwas machen kann, zeigt *Abb. 18*. Die beiden Transistoren in diesem Bild sind über ihre Emitter so verkoppelt, daß an den beiden Ausgängen kein Signal erscheint, wenn die beiden Eingänge mit dem gleichen Signal, also einem Monosignal, beaufschlagt werden. Damit ist zugleich schon die Einstellvorschrift vorweggenommen. Das Potentiometer im linken Eingang wird bei Monoübertragung einfach so eingestellt, daß hinten „Funkstille" herrscht. Unterschiedliche Signale aber, also bei Stereowiedergabe, subtrahieren einander, so daß sich an den Ausgängen die Signale R-L und L-R ergeben. Jetzt brauchen nur noch ein zweiter Stereoverstärker und die rückwärtigen Lautsprecher nachgeschaltet zu werden, und schon funktioniert das ganze. Wiederum aber ist auch hier auf eine weise Beschränkung der rückwärtigen Lautstärke zu achten.

Man sollte es nicht glauben, aber es geht noch einfacher. Wir brauchen dazu nur ein Gedankenexperiment zu vollziehen. Die Spannungen an den beiden Lautsprecherausgängen jedes Stereoverstärkers sind gleichgroß (und gleichphasig), wenn wir ihn mit

Abb. 19 Es geht tatsächlich noch einfacher: so werden die Differenzsignale direkt aus den beiden Stereokanälen abgeleitet. Die Industrie tuts seit langem



einem Monosignal ansteuern. Und ungleichgroß (und ungleichphasig), wenn wir Stereosignale übertragen. Da haben wir sie wieder, die Differenzen, die ja nichts anderes als Unterschiede bedeuten. Wir brauchen also nur nach *Abb. 19* die rückwärtigen Lautsprecher zwischen die „heißen" Pole der beiden Stereoausgänge zu legen und den einen Lautsprecher umzupolen, um wieder die Differenzsignale L-R und R-L zu erhalten. Die Vorwiderstände vor den einzelnen Lautsprechern sind bitter notwendig, denn sie müssen die Verstärker vor Überlastungen schützen. Und der Einstellwiderstand zwischen den beiden rückwärtigen Lautsprechern und Masse ist ein Zugeständnis der Industrie, die sich dieser Technik wegen ihrer Billigkeit verschrieben hat; über ihn lassen sich nämlich die beiden Zusatzlautsprecher den vorderen immer mehr parallelschalten, je kleiner sein Widerstandswert wird. So kommt man von Quasiquadrofonie allmählich zur dröhnenden Doppelstereofonie.

Dem bleibt noch nachzutragen, daß Prof. Keibs von der Deutschen Post in Ost-Berlin für die Quasiquadrofonie den Begriff „Ambiofonie" geprägt hat: das Ambiente (Umgebende) wird in das Geschehen mit einbezogen.

5 Und so wird Stereo konserviert

Grob geschätzt stammen 98 % aller Musik, die wir hören, von einer Konserve. Als da sind: Schallplatte und Tonband. Dies trifft selbst für den Rundfunk zu und natürlich, darin eingeschlossen, auch für das Fernsehen – über das nur äußerst selten ein Schallereignis direkt (in neudeutsch: live) übertragen wird. Und es war auch die Schallplatte, über die sich die Stereofonie Ende der 50er Jahre einführte. Der Rundfunk zog erst in den 60ern nach, brachte dann aber den Durchbruch.

5.1 Die tönende Scheibe

Gerade jetzt, wo die mechanische Schallaufzeichnung hundert Jahre alt geworden und deshalb in der allgemeinen Aufmerksamkeit ist, fällt ihre Qualität auf: Erstmals abgespielte und noch unverstaubte Schallplatten sind „besser" als das Mutterband, von dem sie überspielt wurden. Die Apostrophe sind natürlich berechtigt, denn wir wissen, daß jedes Überspielen Verluste mit sich bringt. Und trotzdem, die Schallplatte ist zumindest in einem Wert besser: im Fremdspannungsabstand, also in der nutzbaren Dynamik. Es ist nicht zu überhören: nach dem Aufsetzen des Abtaststifts in die Einlaufrille hören wir zunächst nahezu buchstäblich nichts, dann das Rauschen des Mutterbands, weil der Toningenieur die Pegeleinsteller hochschiebt, dann das vom Kopiereffekt des Tonbands stammende Echo und erst dann das Einsetzen der Musik.

Sicher, später sieht es etwas ungünstiger aus, aber nur, wenn die Schallplatte nicht sorgfältig genug gepflegt ist. Mit den heute üblichen niedrigen Auflagedrücken, den massearmen Abtastern und rechtzeitig erneuerten Abtaststiften verlieren Schallplatten nur geringfügig an Qualität, auch wenn sie schon hundertmal abgespielt wurden. Wie viele Mal das bei Langspielplatten ist, kann sich der Musikliebhaber daraus errechnen, wie häufig er im Jahr zum Beispiel eine bestimmte Symphonie abspielt.

Freunde von „Singles" und Pop brauchen nicht traurig zu sein. Von bestimmten Ausnahmen einmal ganz bewußt abgesehen, sind diese Schallkonserven Verbrauchsware. Wobei man aber auf direkten Ersatz verzichtet, denn dann kann man samt der Platte auch oft den Schlager „nicht mehr hören". Es ist jedoch erwiesen, daß man gerade die Schallplatten mit wegwirft, die dann in einigen Jahrzehnten zu Liebhaberpreisen gehandelt werden.

Doch sehen wir es uns zunächst einmal an, wie es überhaupt zur Stereoschallplatte gekommen ist.

Die Idee war da, es galt nur noch, die zu realisieren. Das Problem war nicht gerade klein: müssen doch die beiden Kanäle so gleichzeitig und gleichmäßig aufgezeichnet und abgetastet werden, daß keine Fehler und natürlich auch kein Übersprechen zu hören sind.

Zunächst versuchte es um 1925 Küchenmeister von Ultraphon mit zwei Schalldosen, die im Abstand von 20 cm hintereinander die gleiche Rillenwindung abtasteten. Das Ergebnis war allerdings nur ein primitives Raumtonsystem. Mehr Erfolg versprach schon ein um 1938/39 unter anderem im Philips-Forschungslaboratorium in Eindhoven entwickeltes Verfahren, bei dem zwei parallel bewegte Schneiddosen eine Schallplatte mit zwei Schallrillenzonen schnitt. Das ließ sich aufnahmetechnisch sehr gut machen; die Probleme aber kamen bei der Wiedergabe. Zwar gab es schon elektromagnetische Tonabnehmer, aber noch keine Tangential-Tonarme. Und normale Tonarme führen nun einmal die Nadeln in Kreisbögen über die Schallplatte. *Abb. 20* zeigt uns das sehr deutlich. Das würde an sich das Schallbild nicht verformen, wenn nicht wegen der unterschiedlichen Rillenradien nicht auch mit unterschiedlichen Umfangsgeschwindigkeiten aufgezeichnet werden würde. Die dadurch verursachten Fehler lassen sich beim besten Willen nicht mehr ausgleichen, auch nicht durch sorgsamste Justage. Und wir wissen inzwischen, wie sehr ungewollte Phasenunterschiede die seitliche Zuordnung der scheinbaren Schallquelle verändern. Hinzu kam noch, daß jede Exzentrität des Mittellochs der Schallplatte störte, ebenso natürlich jede Längenabweichung vom Tonarmdrehlager zur Nadelspitze.

Trotzdem brachte 1952 Cook in den USA Stereo-Langspielplatten nach diesem System heraus. Sie hatten keinen Erfolg – was

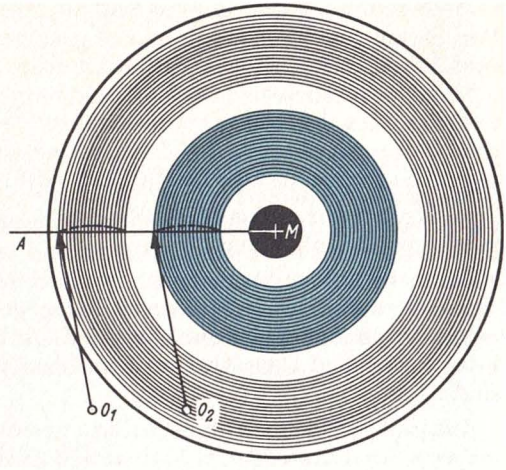


Abb. 20 Weil die Abtastnadeln in Kreisbögen über die Platte laufen, gibt es Verzerrungen

nach dem Gesagten naheliegt. So ging es also nicht. Es mußte nach einem Weg gesucht werden, die beiden Schallkomponenten in einer Rille unterzubringen, um so den Gleichlauf zu sichern. Daß man sich dabei andere Schwierigkeiten einhandeln würde, war ebenfalls sicher. Doch wie es sich zeigte, ließen sich diese leichter beheben.

In der technischen Literatur gilt der Engländer A. D. Blümlein von der E.M.I. als der Erfinder der Stereoschallplatte mit zwei Tonaufzeichnungen in einer Rille. Sein britisches Patent Nr. 394 325 vom 14. 12. 1931 (!) enthält den Vorschlag, den einen Stereokanal in der Seitenschrift nach Berliner, den anderen in der Tiefenschrift nach Edison (1877) aufzuzeichnen. Danach geschnitten, sieht die Rille wie eine kurvenreiche Straße in einer hügeligen Landschaft aus. Zwei Fliegen schlug man also mit einer Klappe: die Spieldauer der Schallplatte blieb erhalten, sie wurde nicht wie beim Zweitonarm-Verfahren halbiert, und die Aufzeichnung mit einem Schneidstichel sowie die Abtastung mit einer Nadel garantierte eine eindeutige gegenseitige Zuordnung der beiden Kanäle. Es mußte nur noch dafür gesorgt werden, daß aus den jetzt unter anderem kreisförmigen Bewegungen des Ab-

taststifts die senkrechte und die waagerechte Komponente wieder herausgeholt werden konnten, und zwar so, daß sich die beiden so wenig wie möglich beeinflussen.

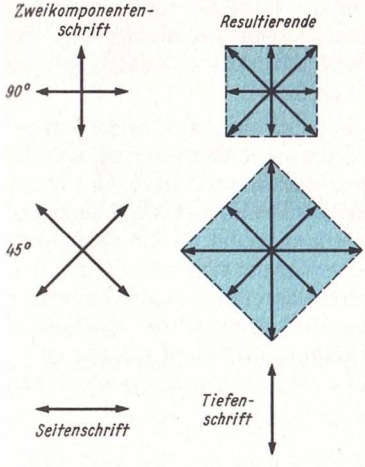


Abb. 21 So wirken bei den unterschiedlichen Schriften die Ablenkkräfte auf die Nadel

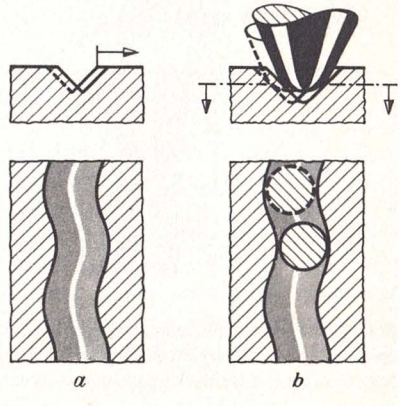


Abb. 22 Und so bewegt sich nun die Nadel bei einer Monoaufzeichnung

Nun, das hätte man schon 1931 machen können, indem man die eine Tondosen-Membran senkrecht und die andere waagerecht angeordnet hätte. Und die Nadelbewegungen wären dazu nur über ein mechanisches L-Glied zu übertragen gewesen, das in der Druckrichtung steif, in der Biegerichtung aber weich ist. Zum Abhören wären dann eben zwei Schläuche notwendig gewesen. Andererseits gab es schon seit etwa der Mitte der zwanziger Jahre elektromagnetische Tonabnehmer. Doch ist von praktischen Versuchen aus der damaligen Zeit erst jetzt näheres bekannt geworden (Funkschau 1979, Heft 9, Seite 511).

Stellen wir uns einmal geistig vor, daß ein Musikinstrument genau in der Mitte vor den Mikrofonen steht. Dann bewegt sich die Nadel bei der kombinierten Seiten-Tiefenschrift nach *Abb. 21* um je 45° in den Schrägen. Das entspricht also der Monoaufzeichnung. Und so lag auch bald der Gedanke nahe, das ganze „Schriftbild" um 45° zu kippen. Denn damit ergibt sich automatisch Seitenschrift für die Aufzeichnung gleichgroßer und gleichphasiger Signale, also von Monosignalen. Und damit wurde die Stereoschallplatte automatisch kompatibel *(Abb. 22 und 23)*. Das ist jedoch nur einer der Vorteile der 45°/45°-Schrift. Fast noch wichti-

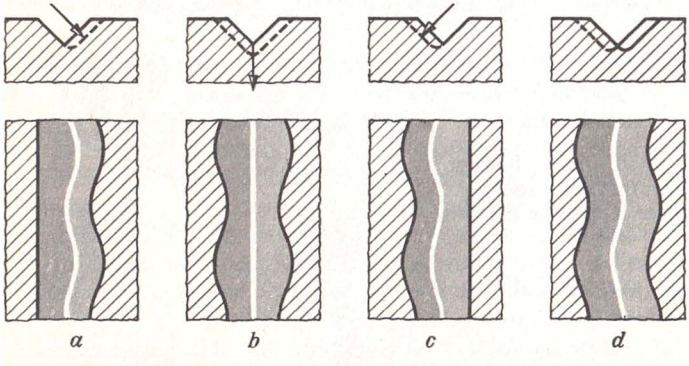


Abb. 23 Was die einzelnen Signale bewirken: nur rechter Kanal bespielt (a), beide Kanäle gleich, aber in Gegenphase (b), nur linker Kanal bespielt (c) und beide Kanäle völlig gleich, also Monoaufzeichnung (d)

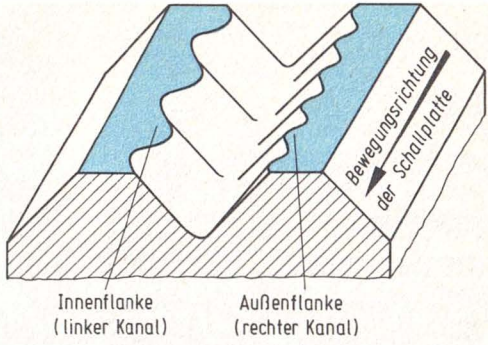
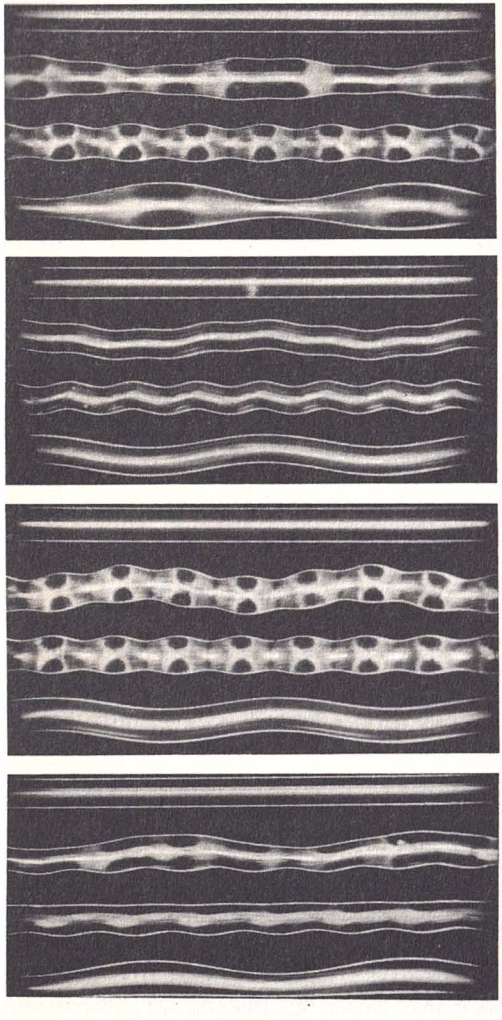


Abb. 24 Hier sehen wir noch einmal deutlich, daß jede Rillenflanke ihren Kanal enthält

ger war, daß dadurch die beiden Stereokanäle völlig voneinander getrennt wurden, jeder liegt auf einer eigenen Rillenflanke. *Abb. 24* zeigt uns das, weil perspektivisch, am deutlichsten.

Das ist aber noch immer nicht alles. Zusätzlich bringt die geringere vertikale Bewegung bei der 45°-Schrift gegenüber der kombinierten Tiefen-Seitenschrift auch weniger Rumpeln. Und selbst das Schneiden scheint in der 45°-Technik leichter zu sein.

Fassen wir nun einmal die vier möglichen Schallplatten-„Schriften" zusammen, also Tiefenschrift, Seitenschrift, 90°-Stereoschrift (Tiefe/Seite +) und 45°-Stereoschrift (45/45 x), so ergeben sich die in *Abb. 25* dargestellten Rillen. Als eine kleine Zugabe dazu noch die sich beim SQ-Verfahren ergebende Quadroschrift in *Abb. 26*. Die korkenzieherartigen Rillen ergeben sich aus den in der Vertikalebene kreisenden Bewegungen des Schneidstichels (und des Abtaststifts) bei diesem Quadro-Matrixverfahren. Da es sich bisher noch nicht richtig durchgesetzt hat, bleiben wir vorerst bei der „normalen" Stereoschrift. Sie ist inzwischen zur „Weltnorm" geworden, und zugleich wurden noch weitere Empfehlungen ausgearbeitet.



a)
Leerrille

500 + 2000 Hz

2000 Hz

500 Hz

b)
Leerrille

500 + 2000 Hz

2000 Hz

500 Hz

c)
Leerrille

500 Hz im linken + 2000 Hz im rechten Kanal

2000 Hz (rechter Kanal) = nur Tiefenschrift

500 Hz (linker Kanal) = nur Seitenschrift

d)
Leerrille

500 Hz im rechten +2000 Hz im linken Kanal

2000 Hz im linken Kanal

500 Hz im rechten Kanal

Abb. 25 Die vier möglichen Schriften in der Praxis: Tiefenschrift, Seitenschrift, 90°-Stereo und 45°-Stereo (von oben nach unten)

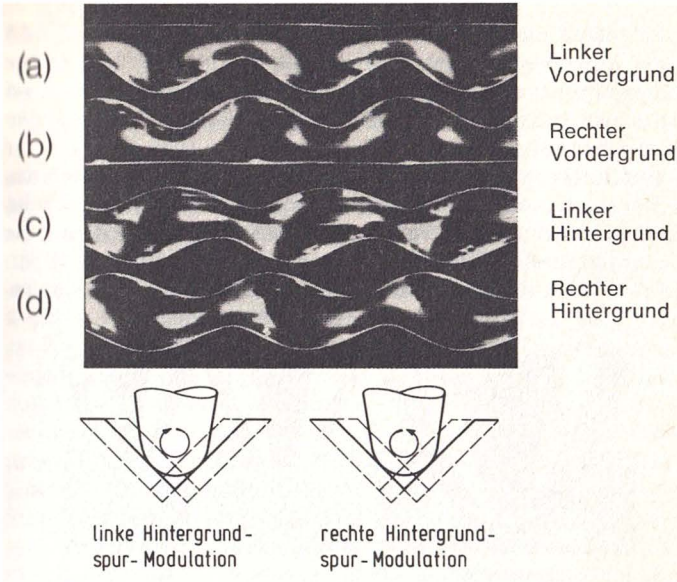


Abb. 26 Die korkenzieherartigen „Windungen" der SQ-Rille (rechts) bringen die Nadel zum „Kreisen" (oben)

	Stereorille (33⅓ U/min und	Mikrorille 45 U/min)	zum Vergleich Normalrille
Rillenbreite	40 µm	60 µm	120 µm
Verrundung des Rillengrunds	5 µm	5 µm	40 µm
Flankenwinkel	88°	88°	88°
Spitzenverrundung des Abtaststifts	15 µm	25 µm	60 µm
Auflagekraft des Tonabnehmers	5 ... 50 mN (0,5 ... 5 p)	5 ... 100 mN (0,5 ... 10 p)	50 ... 100 mN (5 ... 10 p)
vertikaler Abtastwinkel	20°		

Wie die Abtaststifte in den Rillen aufliegen, zeigt uns *Abb. 27* zwar vergrößert, aber maßstabgerecht; und *Abb. 28* läßt erkennen, was unter dem vertikalen Abtastwinkel zu verstehen ist. Er hat seinen guten Grund. Um diesen Winkel ist nämlich auch der Schneidstichel geneigt.

Hundert Jahre nach der Erfindung der Schallplatte – damals natürlich noch -walze, die Schallplatte kam ja erst 1888 –, scheint ihr Ende absehbar zu sein. Denn wiederum aus dem Philips-Laboratorien verlautet, daß die Audio-Langspiel-Platte (ALP) in Sicht sei. Sie wird wohl bald als Compact Disc (CD) auf den Markt kommen.

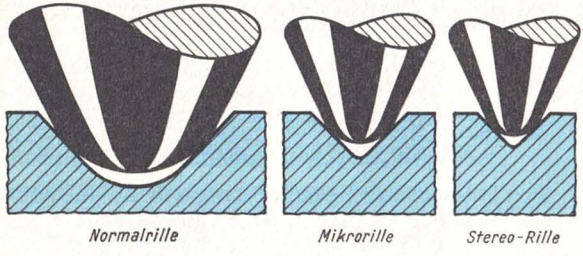
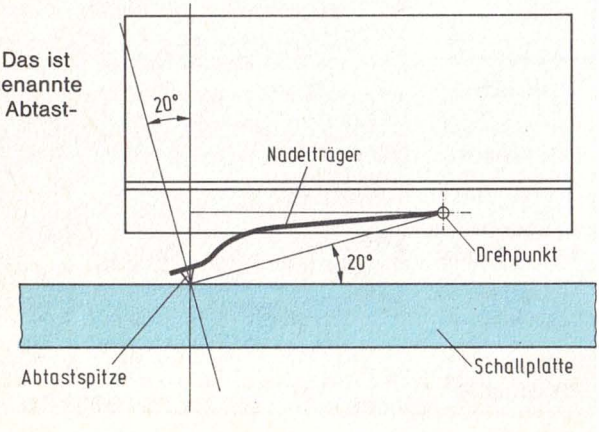


Abb. 27 So unterschiedlich waren einst Nadel- und Rillengrößen. Heute gibt es nur noch die Stereorille.

Abb. 28 Das ist der vielgenannte vertikale Abtastwinkel



Genaugenommen ist sie ein „Abfall"-Produkt der Video-Langspielplatte (VLP), auf die sich Fernsehbilder aufzeichnen lassen. Da bietet sich natürlich Platz für viele Töne an. Noch ist über die vor Kurzem vorgestellte ALP nicht viel mehr bekannt, – als daß sie 11 cm Durchmesser haben wird, mit einer konstanten Rillengeschwindigkeit von 1,5 m/s geschnitten werden soll, also mit sich ändernder Drehzahl, und daß sie mit einem Gallium-Arsenid-Laser berührungsfrei abgetastet wird. Digitale Aufzeichnungstechnik, vermutlich Impuls-Code-Modulation (PCM), soll eine Aufzeichnungs- und Wiedergabedynamik von 85 dB zulassen; das Knistern und Knacken entfällt durch die Modulation und die Laser-Abtastung. Mehr ist noch nicht bekannt. Um aber überhaupt eingeführt werden zu können, darf diese neue Schallplatte nicht mehr kosten, als eine herkömmliche, auch nicht länger spielen, als diese (weils sonst zu teuer wird), und auch die Abspielgerätepreise müssen sich im üblichen Rahmen halten. Das alles scheint jedoch machbar zu sein. Weil die Vorzüge überwiegen – die eine Stunde Spieldauer paßt auf eine Seite, es wird nicht notwendig sein, die neue Schallplatte umzudrehen, und auch die Nebengeräusche entfallen –, wird sich die ALP durchsetzen, sobald eine weltweite Norm für den Aufzeichnungscode vereinbart ist.

Das bedeutet jedoch keinesfalls, daß dadurch die „alten" Plattensammlungen wertlos werden. Gut Ding braucht Weile, sagt der Volksmund nicht umsonst, und die alten Aufnahmen könnten sogar im Wert steigen, weil es kaum möglich sein wird, alte Mutterbänder auf die neuen Schallplatten zu überspielen, ohne daß die geringere Qualität der Mutterbänder hörbar wird. Doch auch da tut sich Neues, und wieder ist die Digitaltechnik mit im Spiel.

5.2 Musik am laufenden Band

Selbstverständlich war das Tonband zuerst da, wenigstens vor der Stereoschallplatte. Denn spätestens seit dem Anfang der 50er Jahre wird alles erst auf Band aufgezeichnet, was später in eine Schallrille zu sticheln ist. Aber das sehen nur wenige. Tatsächlich kam das Stereo-Tonband für den Hausgebrauch erst nach der Stereo-Schallplatte auf den Markt – Anfang der 60er Jahre. Doch hier müssen wir präzisieren: genau genommen war es das Stereo-Ton-

bandgerät. Denn nur dieses bestimmt, was auf das Tonband aufgezeichnet wird. Also kam das Huhn doch vor dem Ei.

So richtig gelang der Druchbruch aber erst mit der Tonband-Cassette. Wiederum aber nur, weil die ersten Stereo-Cassetten-Recorder zeitgleich mit dem Stereo-Rundfunk auftauchten. Vorher gab es ja nur Stereo-Schallplatten zum Überspielen, und das war lange Zeit verboten. Trotzdem gab es natürlich schon bald die ersten Stereo-Spulentonbandgeräte; die Halbspur war bereits eingeführt, und so wurde eben die zweite Spur für den zweiten Stereokanal benutzt. Die Übersprechprobleme hielten (und halten) sich in Grenzen, weil die beiden Tonspuren weit genug auseinanderliegen. Genügend „Rasen" (unbespieltes Band zwischen den Tonspuren) sorgt dafür. Daß dabei Aufzeichnungsdynamik verlorengeht, und zwar rund 3 dB bei jeder Halbierung der Spurweite, nahm man schon für Monoaufzeichnungen in Kauf, ja es folgten bald die ersten Vierspurgeräte. Aufzeichnungsdauer rangiert eben für viele vor Qualität. Denn die kostet mehr, auch an Tonbändern. Gerechterweise muß aber auch erwähnt werden, daß mit Vierspurgeräten eine wesentlich verfeinerte Tricktechnik möglich ist. Zum Übersprechen muß noch gesagt werden, daß es in erster Linie über die eng benachbarten Tonköpfe geschieht und weniger durch flatternde Tonbänder.

Nun, das waren für das 6,25 mm breite Normalband keine Probleme, doch dann kam der nur noch 3,81 mm schmale „Schnürsenkel" in der Compact-Cassette. Er bewirkte, daß die Spuren noch schmaler und die Toleranzen in der Antriebsmechanik noch enger wurden. Und weil auf das schmalere Band trotzdem vier Spuren „geschrieben" werden, muß sich jede von ihnen mit 0,6 mm Breite genügen. Da blieben nur noch je 0,3 mm pro „Rasen" zwischen den Spuren und 0,8 mm Zwischenraum in der Mitte übrig. Wenigstens ungefähr, denn die zulässigen Spurbreiten schwanken zwischen 0,54 und 0,64 mm.

Wie und wo die einzelnen Spuren liegen, zeigt *Abb. 29*. Sie läßt zusätzlich erkennen, daß die beiden Stereokanäle auf Compact-Cassetten von einem Monotonkopf gemeinsam erfaßt werden, womit die volle Kompatibilität erreicht ist.

Soweit ist alles zum besten gelöst – scheint es. Aber schon rührt sich Neues in der Studiotechnik. Auf die Videobänder läßt sich

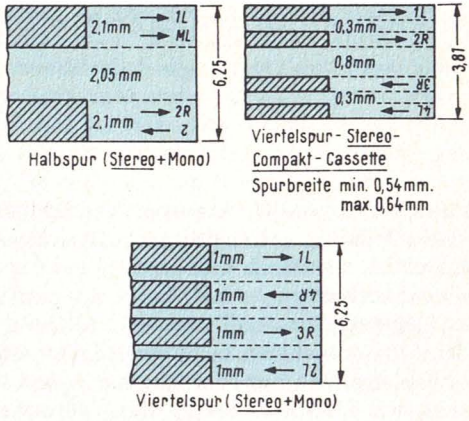


Abb. 29 Und so liegen die Spuren auf dem Band

nämlich auch Musik aufzeichnen – PCM-codiert, versteht sich; also digital. Und damit erreicht man heute schon bis zu 95 dB Dynamik. Vorerst ist das ganze noch etwas teuer, jedoch nur für Otto-Normalverbraucher. Die Studios finden's sehr preiswert. Demnach ist der Weg nicht mehr weit, bis auch diese Technik ins Wohnzimmer findet.

Das macht es notwendig, einige Worte über PCM zu verlieren. Das wesentliche Kennzeichen der Impuls-Code-Modulation ist es, daß in ihr analoge Signale in digitale umgewandelt und anschließend wieder zurückgewandelt werden. So geht die Amplitude der Impulse ähnlich wie jene der frequenzmodulierten Hochfrequenzträger nicht in das decodierte (wieder zurückgewandelte) Signal ein. Die eigentliche Information ist hier vielmehr in der Impulsfrequenz, den Impulsdauern und den Impulsabständen enthalten.

Das bedeutet aber, das Grundrauschen und Grundbrummen fehlen, soweit sie nicht schon in den Coder mit eingeschleppt werden. Daher der hohe Fremdspannungsabstand.

6 Die Dosenöffner (Abspielgeräte)

Da liegt sie nun vor uns, die Tonkonserve – die Schallplatte oder die Musik-Cassette, wenn es fremdbespielte Tonträger sind. Beide sind unglaublich lagerfähig, und bei richtiger Lagerung verdirbt die in ihnen enthaltene „Ware" Musik auch nach vielen Jahren nicht. Im Gegensatz zu „Food"-Konserven können wir ihnen die Ware viele Male entnehmen; beide verschleißen auf sorgfältig gepflegten Abspielgeräten nur sehr langsam. Sehen wir es uns jetzt einmal an, wie wir wieder an die Musik kommen.

Zwei Dinge setzen wir bei den Abspielgeräten – Plattenspieler und Tonbandwiedergabegerät – voraus: sie müssen den Aufzeichnungsträger so gleichmäßig wie nur möglich bewegen – sonst jault die Wiedergabe – und sie müssen ihn so verzerrungsarm wie möglich abtasten. Das gilt für lineare Verzerrungen, also für Lautstärkeabweichungen von gleichstark aufgezeichneten, jedoch unterschiedlich hohen Tönen, ebenso wie für nichtlineare Verzerrungen, bei denen durch irgendwelche krummen Wandler- oder Verstärkerkennlinien Obertöne und Mischprodukte zu der wiedergegebenen Aufzeichnung hinzukommen, die vorher noch nicht da waren.

Dabei müssen wir es als gegeben hinnehmen, daß derartige Dinge schon beim Schneiden oder Aufzeichnen der Tonträger passieren, ganz abgesehen von Preßfehlern. Glücklicherweise sorgt ein kräftiger Konkurrenzdruck bei den Herstellern dafür, daß wirklich schlechte Aufzeichnungen nur selten in den Markt gelangen. Leider ist dies kein Trost für jene, die Ausreißer erwischt haben. Hersteller lassen aber mit sich reden, wenn man es nur geschickt genug anstellt.

Damit kennen wir nun die beiden Hauptforderungen. Nennen wir gleich noch die Dritte: Nebengeräuschabstand. Eigentlich ist dies die Forderung 2 a, denn Brummen, Rauschen und Rumpeln fehlen ja (mit äußerstem Vorbehalt!) auf den industriell gefertigten Aufzeichnungen.

Diese simplen Forderungen zu erfüllen, bemüht sich die Unterhaltungselektronik-Industrie seit vielen Jahren. Daß die Erfolge dabei so unterschiedlich sind, hängt damit zusammen, daß einige der Forderungen zueinander im Widerspruch stehen. Deshalb läuft so manches auf einen Kompromiß hinaus; und wir als Verbraucher müssen uns entscheiden, welche Wertigkeiten wir den einzelnen Eigenschaften von Abspielgeräten zuordnen, um das unseren Ansprüchen am weitesten entgegenkommende Gerät zu erwerben. Daß dabei auch der Preis eine große Rolle spielt, ist leider nicht zu beschönigen. Aber da wir diese Dinge nun einmal kaufen müssen – Selbstbau kommt heute wirklich nicht mehr in Frage – sollten wir auch über die wichtigsten Zusammenhänge Bescheid wissen.

6.1 Die Dinge werden bewegt

Es ist beim einen wie beim anderen – Plattenabspielgerät oder Tonbandgerät –, der Antrieb folgt immer dem gleichen Schema: Motor, Kupplung/Untersetzung, Drehzahleinstellung und -stabilisierung. Wobei die Reihenfolge nicht bindend ist. Sowie Antrieb der Nebenaggregate, wie Tonarmaufsetz und -abhebeautomatik, Plattenwechselautomatik – und beim Tonbandgerät der Antrieb von Auf- und Abwickelspule sowie Bandzählwerk. Etwas vergessen? Nein. Die mehr oder weniger sanft schließenden und öffnenden Cassettenfächer einiger höchst komfortabler, meist fernöstlicher Cassetten-Decks haben damit nichts zu tun.

Betrachten wir zunächst die Motoren, als es da gibt: Synchronmotoren mit von der Netzfrequenz bestimmter Drehzahl – sie schwankt weniger als man annehmen sollte –, Asynchronmotoren, die in Hi-Fi-Geräten nicht mehr anzutreffen sind, Gleichstrommotoren mit oder ohne Kollektoren (mechanisch unterbrechende Stromzuführungen). Die Gleichstrommotoren *(Abb. 30)* scheinen, zumindest in der Mittel- und Oberklasse, das Rennen zu machen. Es gibt sie in den unwahrscheinlichsten Ausführungen, bis hin zum Motorsegment, das bei einem japanischen Plattenspieler den Plattentellerrand direkt antreibt.

Untersetzt beziehungsweise gekuppelt wird über Reibräder *(Abb. 31)*, die allerdings nicht immer ganz schlagfrei zu bekommen sind, über Riemenantriebe *(Abb. 32)*, die ganz ausgezeichnet

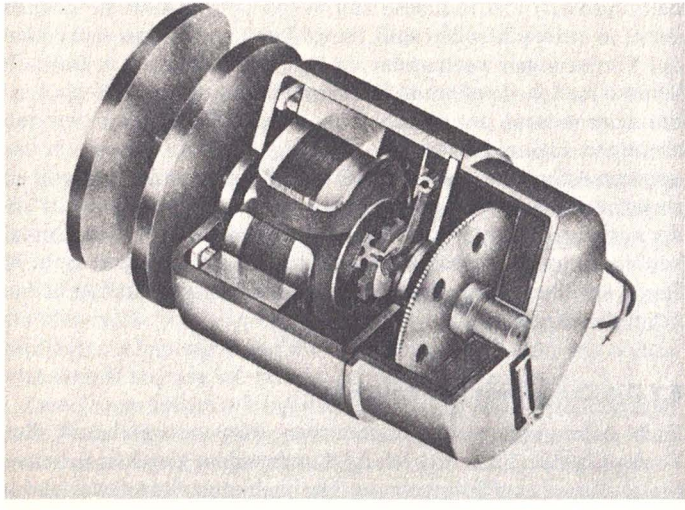


Abb. 30 Gleich unter dem Gleichstrommotor rotiert der 72polige Tachogenerator

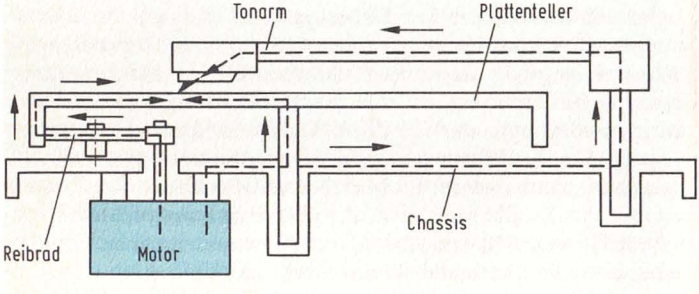


Abb. 31 Reibradantriebe neigen naturbedingt nun einmal zu mehr Rumpeln. Hier sind die Wege eingezeichnet, über die diese unangenehmen Störungen zum Tonabnehmersystem gelangen können

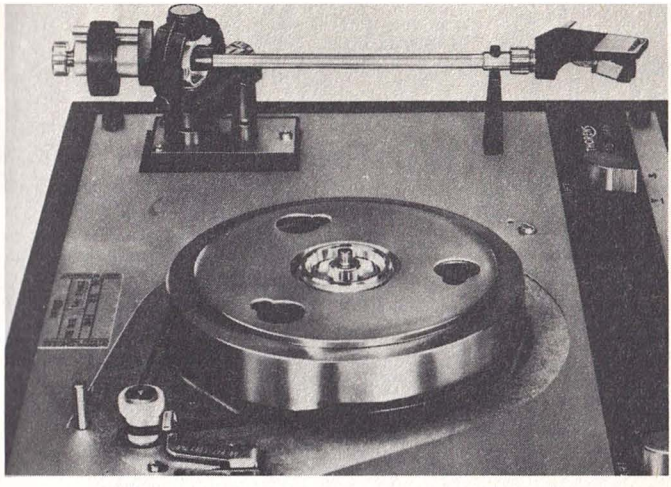


Abb. 32 Riemenantrieb mit Drehzahlumschaltung durch Durchmesserwechsel am Antriebsrad (Werkaufnahme: Thorens)

funktionieren können, oder Motor und Capstan (Tonwelle) beziehungsweise Plattenteller sitzen auf der gleichen Achse. Das ist dann der vielgepriesene Direktantrieb *(Abb. 33)*, bei dem natürlich Plattentellerdrehzahl und Motordrehzahl gleich (niedrig) sind. Beim Capstan ist das nicht so schlimm, weil sein Durchmesser – in Grenzen – klein und damit die Motordrehzahl groß gehalten werden kann. Denn da spielt schon die Frage nach der Drehzahlstabilisierung mit hinein. Hierfür ist es am einfachsten, ein Schwungrad einzusetzen, mit möglichst großem Durchmesser und mit möglichst großer, am Umfang liegender Masse. Das kann der Motor selbst sein, wie die Außenläufermotoren von professionellen Tonbandmaschinen beweisen, oder der Plattenteller, der viele Jahre hindurch (und neuerdings anscheinend wieder) nach Durchmesser und Masse bewertet wurde. So ganz falsch ist das auch nicht, denn ein großes Drehmoment läßt sich durch kleine Reibungsunterschiede beim Plattenspieler und schwankende

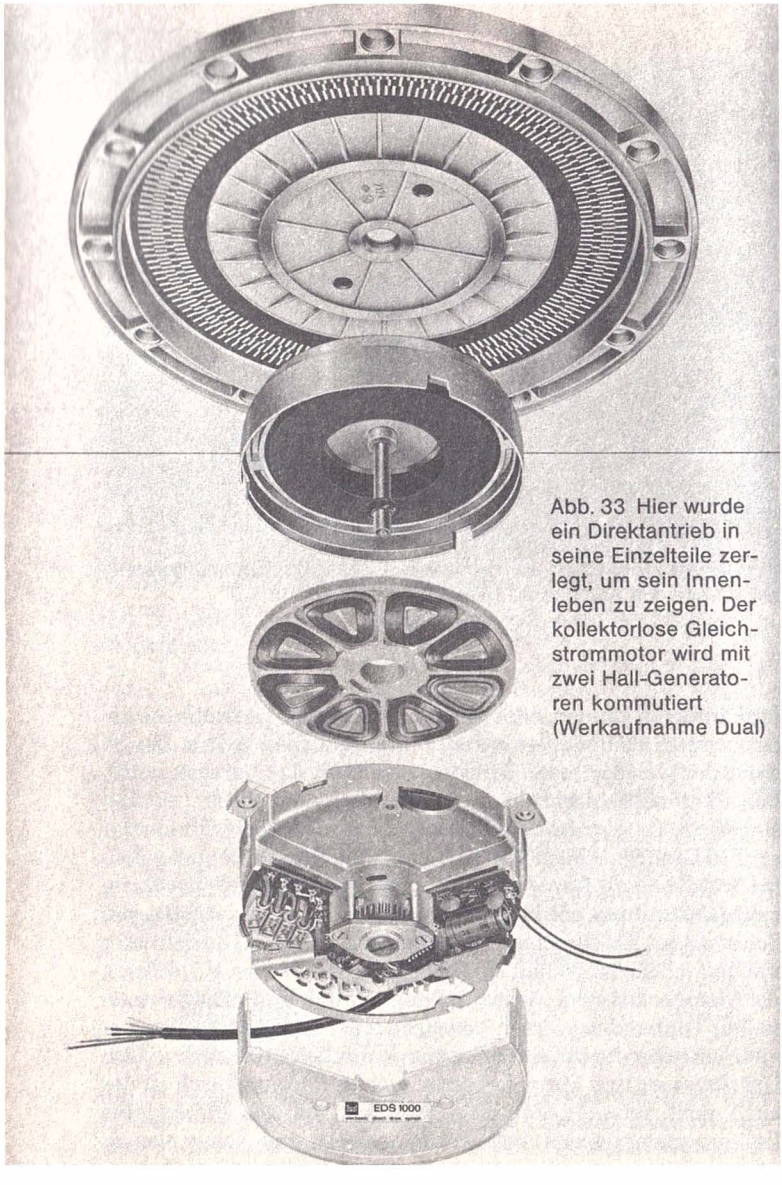


Abb. 33 Hier wurde ein Direktantrieb in seine Einzelteile zerlegt, um sein Innenleben zu zeigen. Der kollektorlose Gleichstrommotor wird mit zwei Hall-Generatoren kommutiert (Werkaufnahme Dual)

Zugmomente beim Tonbandgerät nicht so schnell aus dem Gleichmaß bringen.

Aber auch nicht in Bewegung setzen. Und so mancher legt gerade auf eine kurze Hochlaufzeit Wert. Mit entsprechend kräftigen Motoren gelingt das auch bei großen, in Bewegung zu setzende Massen, aber das kostet Geld. Trotzdem, bei Studioplattenspielern tut man's mit Erfolg. Für Heimgeräte hat man inzwischen subtilere Wege gefunden, die Drehzahlen von Plattentellern und Tonwellen zu stabilisieren.

Da kommt es nun darauf an, wo der (Steuer-)Hebel angesetzt wird. Der einfachste Weg ist es noch, die Motordrehzahl zu regeln. Ganz deutlich muß hierzu gesagt werden, daß es sich dabei um eine automatische Regelung handelt, also um eine Regelschleife, in der die Drehzahl einen ihr proportionalen elektrischen Wert erzeugt, der mit einem Referenzwert verglichen wird, und die bei Abweichungen der beiden voneinander eine Stellgröße erzeugt, die die Drehzahl auf ihren ursprünglichen Wert zurückregelt. Das klingt zwar ein bißchen theoretisch, funktioniert aber in der Praxis einfach, sauber und sicher. Der der Drehzahl proportionale Wert kann ein Strom, eine Spannung oder eine Frequenz sein, die nach entsprechender Umsetzung die Motorspannung regeln. Was aber auf konstante Drehzahl eingestellt wird, ist der Motor. Falls es sich um keinen Direktantrieb handelt, sondern zum Beispiel einen Riemenantrieb, gehen natürlich noch dessen Ungenauigkeit in die Plattenteller- oder Capstandrehzahl ein. Deshalb werden derartige Antriebsriemen auch sehr sorgfältig geschliffen. Nicht mehr von besonderem Gewicht ist jetzt die Plattenteller- oder Capstan-Schwungmasse, was kurze Hochlaufzeiten ergibt.

Wenn man nun den Drehzahlabtaster, der in den meisten Fällen ein Tachogenerator, zu deutsch eine Wechselstrom-Dynamomaschine, ist, gleich in den Plattenteller verlegt, dann läßt sich so auch noch der Schlupf des Antriebsriemens ausregeln. Das gibt es bereits; und es hat auch prompt dazugeführt, daß die Antriebsriemen nicht mehr so sorgfältig hergestellt werden.

Derartige Überlegungen entfallen natürlich beim Direktantrieb. Er macht aber seinem Konstrukteur wegen der sehr niedrigen Drehzahlen trotzdem genung Kopfzerbrechen. Und so kommt es,

daß man in so manchem fundierten Testbericht liest, daß bei auch im Preis vergleichbaren Modellen das mit dem Riemenantrieb besser abschneidet.

Was uns bisher beschäftigte, waren die Gleichlaufschwankungen. DIN 45 500 läßt bei Plattenabspielgeräten, wie unsere Tabelle zeigt, ± 0,2 % zu, sehr gute Plattenspieler schaffen bis zu ± 0,03 %.

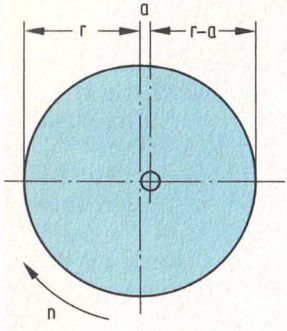


Abb. 34 Deutlicher als Worte zeigt diese Skizze, weshalb bei dezentrierten Mittellöchern die Umfangsgeschwindigkeit wechselt und die Schallplatte „jault"

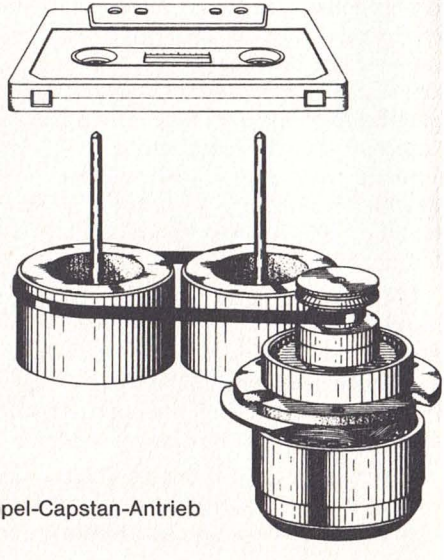


Abb. 35 Das ist der Doppel-Capstan-Antrieb von Akai

Das ist besser, als es die meisten Schneidapparaturen schaffen, denen ± 0,04 % Gleichlaufschwankungen nachgesagt werden. Sie müssen ja aber auch die Rille aus der Kunststoffolie herausstocheln. Aber selbst zu diesem Wert kommen wir höchst selten. Schon kleinste Exzentritäten des Mittellochs von Schallplatten *(Abb. 34)* verderben diesen schönen Wert und lassen getragene Klaviertöne bis zu deutlich hörbar wimmern. Und dabei hören wir Gleichlaufschwankungen erst von etwa 0,2 % an.

Daß die gleichen Probleme auch bei Tonbandgeräten anstehen, leuchtet ein. Hier spielen auch noch so unangenehme Dinge, wie ungleichmäßige Wickeldrehmomente, mit hinein. Fernöstliche Hersteller gingen deshalb so weit, einen Doppel-Capstan-Antrieb in ihre Cassetten-Recorder einzubauen *(Abb. 35)*. Der vordere Capstan zieht dabei etwas stärker und hält so das Tonband straff.

Gleichmäßige Bewegung, wie wir das einleitend lasen, setzt aber nicht nur schwankungsarmen Gleichlauf, sondern auch konstante Drehzahlen beziehungsweise Bandgeschwindigkeiten voraus. Das bedeutet also gleichbleibende absolute Tonhöhen, eine Forderung, zu der, vor allem bei Plattenabspielgeräten, noch die nach nachträglicher Einstellung der Tonhöhe, also der Drehzahl, hinzukommt. Letztere läßt sich meistens über die Regelschaltung elektronisch beeinflussen; wobei die Stunde der Wahrheit schlägt, wenn auf der Schallplatte noch ein Reinigungsgerät „mitläuft". Natürlich läuft die Platte unter ihm „weg", aber wie soll man es besser sagen? Der Effekt ist jedenfalls derselbe.

Solange der „Besen" weiter außen auf der Schallplatte reibt, bremst er sie stärker ab, als wenn sich Abtaststift und Besen schon zu den innersten Rillen begeben haben. Der Erfolg ist, daß die absolute Drehzahl ansteigt. Als Abhilfen bieten sich wiederum an: kräftigerer Antrieb (zu teuer), Tachoregelung direkt am Plattenteller *(Abb. 36)* (hilft tatsächlich innerhalb brauchbarer Genauigkeitsgrenzen) und Quarzstabilisierung der Drehzahl. Die ist am genauesten, aber nun ist es aus mit der Drehzahl-Feineinstellung. Wenn eine solche dann trotzdem vorgesehen ist, so wird sie mit einem freischwingenden Oszillator stabilisiert, der in seiner Genauigkeit natürlich niemals mit einem Quarzgenerator konkurrieren kann. Trotzdem hörts kaum einer.

Bleiben also noch die Nebenantriebe. Die wichtigsten beim Tonbandgerät sind für die Wickelteller. Wenn es Platz und Kal-

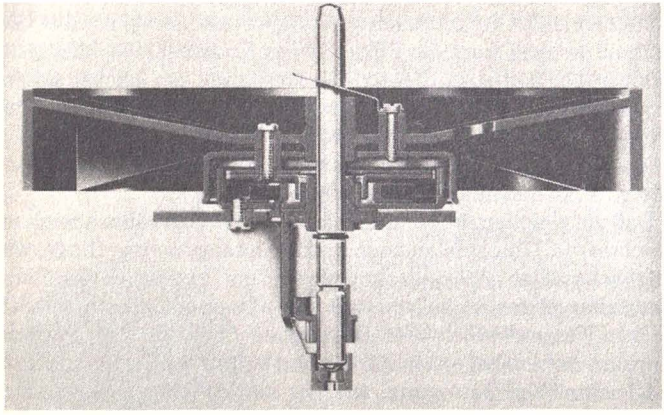


Abb. 36 Hier sitzt der Tachogenerator in der Plattenteller-Antriebsscheibe (Werkaufnahme: Philips)

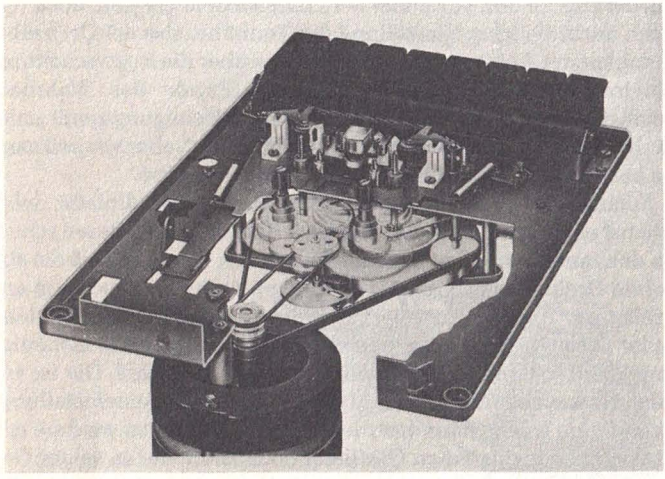


Abb. 37 Riemenantriebe auch in Cassetten-Recordern; hier gleich ein doppelter, bei dem Capstan und Wickelteller zwar vom gleichen Motor, aber mit getrennten Riemen angetrieben werden (Werkaufnahme: Dual)

kulation zulassen, spendiert man ihnen getrennte Motoren (Dreimotorenantriebe). Das ist natürlich am einfachsten zu beherrschen und bei nicht allzu großen Stückzahlen je Produktionsserie so billig zu entwickeln und zu konstruieren, daß die Mehrkosten für die zusätzlichen Motoren im Endpreis nicht auffallen, der ja auch die Entwicklungskostenanteile enthält.

Daß es aber auch anders, und in der Fertigung billiger geht, beweisen gekonnte Einmotorenantriebe *(Abb. 37)*, besonders von Cassetten-Recordern, in denen es ja ohnehin sehr eng zugeht. Da gibt es zum Beispiel magnetische Hysteresis-Kupplungen *(Abb. 38)*, die für ein sehr gleichmäßiges Bandwickelmoment sorgen. Die Zukunft aber liegt, auch beim Cassetten-Recorder, beim Dreimotorenantrieb. Alles, was nämlich elektronisch und nicht mechanisch überwacht und gesteuert wird, ist sicherer, zuverlässiger und letztlich billiger.

Ein ganz kurzes Wort noch zu den Zählwerken: sie zeigen im besten Fall an, wieviele Windungen auf der Aufwickelspule aufgespult sind, nicht aber die Bandlänge. Das ist bei den einfachen Antrieben auch nicht möglich. Hier harrt noch ein Problem auf einen Erfinder. Es wäre doch durchaus denkbar, dem Capstan berührungslos Impulse abzunehmen und diese digital zu zählen.

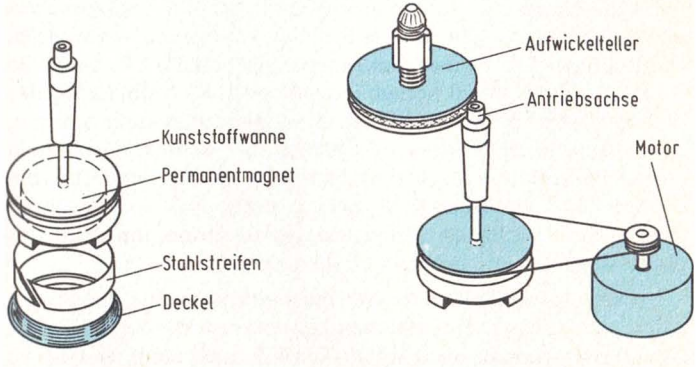


Abb. 38 Bei der Hysteresis-Kupplung sorgen ein Stahlstreifen und ein Permanentmagnet für ein gleichmäßiges Drehmoment

Entsprechende IS und Anzeigeeinheiten kosten ja nur noch einen Apfel und ein Ei. Doch da bleiben die Probleme beim schnellen Vor- und Rücklauf. Sollte man es vielleicht doch wieder mit einer Umlenkrolle versuchen? Die Nebenantriebe von Plattenabspielgeräten werden, mit Ausnahme des Tonarmlifts, nur außerhalb der Abspielzeiten betrieben. Deshalb ist es ohne größere Bedeutung, wie weit sie den Antriebsmotor belasten; und sie werden meistens über Zahnradsätze angetrieben, die während des Abspielens der Schallplatte ausgekuppelt sind und deshalb auch keine Nebengeräusche verursachen; vom direkt abgestrahlten Körperschall einmal abgesehen. Es soll aber nicht verschwiegen werden, daß es schon Plattenspieler mit einem, ja sogar mit zwei Hilfsmotoren gegeben hat. Inzwischen besann man sich aber wieder der einfacheren und bewährten Konstruktionen.

Alles was sich dreht, wackelt auch. Daß diese Binsenweisheit hier steht, bedeutet, daß sich das Wackeln bemerkbar macht. Das mußte schon mancher erfahren, der nach einem Transport des Plattenspielers vergaß, die Transportsicherungsschrauben wieder zu lösen. Denn das deutlich zu hörende Ergebnis ist nicht nur ein satanisches Rumpeln, sondern es sind auch starke nichtlineare Verzerrungen zu vernehmen. Sprechen wir jetzt also über die Rumpel- und Trittschalldämpfung von Plattenspielern, zwei Probleme, die es bei Tonbandgeräten nicht gibt. Man braucht nicht unbedingt sein Plattenabspielgerät auf eine Lautsprecherbox zu stellen, um mit diesem Problem konfrontiert zu werden. Die kräftigen Tritte eines Naturmenschen schaffen es auch, die Nadel aus der Rille zu heben. Dagegen soll die Aufhängung des Plattenspielers in Federn helfen. Das funktioniert auch ganz gut, wenn seine Masse recht groß ist. Dies aber kann sich kaum ein Hersteller leisten. Also setzt er lieber Plattenteller- und Tonarmlager auf ein Subchassis *(Abb. 39)* und entkoppelt so auch gleich den Motor vom übrigen (hier Riemen-) Antrieb, um damit zugleich das Rumpeln gering zu halten.

Derartige Maßnahmen reichen im allgemeinen aus, um den gefürchteten Trittschall ausreichend unwirksam werden zu lassen. Genau messen kann man seinen Einfluß noch nicht, es fehlt an geeigneten Meßmethoden. Wie sehr der Trittschall beispielsweise in die Rumpelmessungen eingeht, beweisen die zentnerschwe-

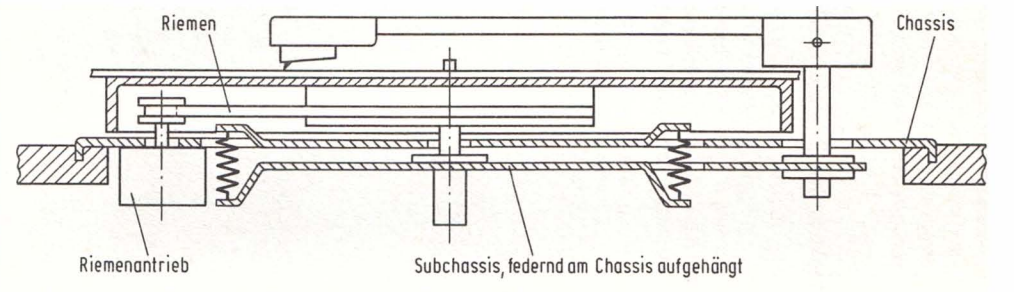


Abb. 39 Ein Subchassis mildert Rumpelstörungen. Deutlich sind die Federn der Aufhängung zu erkennen

ren Meßtische in den Testlabors von Industrie und Fachzeitschriften, die den Infraschall von durch die anrainenden Straßen fahrenden Lastkraftwagen auffangen sollen.

Damit wäre das Wichtigste zu den mit den Antrieben zusammenhängenden Dingen gesagt, und wir können uns nun der Signalrückwandlung in tonfrequente Wechselspannungen und Ströme zuwenden.

6.2 Wie man wieder elektrische Signale erhält

Beginnen wir hier mit dem einfachsten, dem „Entziffern" von Tonbandaufzeichnungen. Wie eine sichtbargemachte Aufzeichnung aussieht, zeigt *Abb. 40*, und wie ein Tonkopf aufgebaut ist, *Abb. 41*. Wie dünn darin der Tonspalt ist, läßt *Abb. 42* erkennen. Das Dicke rechts ist ein menschliches Haar. Wenn wir nun einmal anneh-

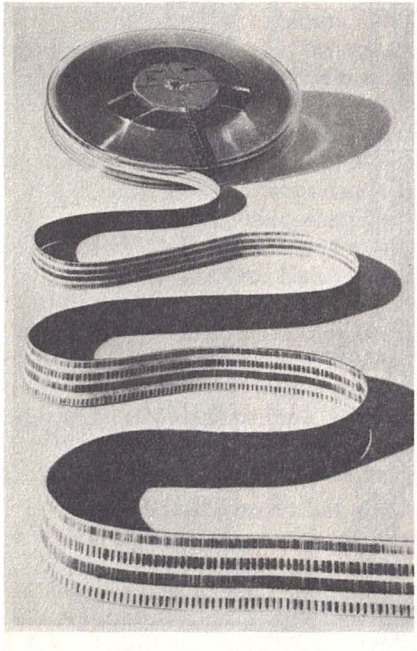
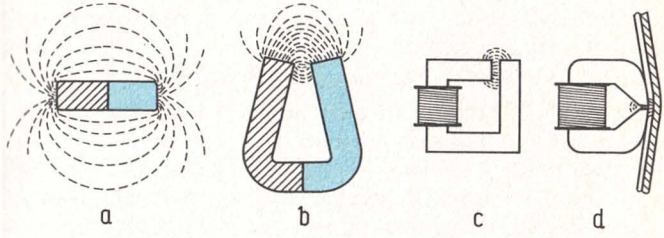


Abb. 40 So macht aufgeschwemmtes Ferritpulver die Tonspuren sichtbar (Werkaufnahme: Philips)

men, daß auf dem Band alle Frequenzen mit der gleichen (magnetischen) Intensität aufgezeichnet sind, dann wächst an unserem induktiven Tonabnehmer (Omega-) Tonkopf das elektrische Si-



a und b = Dauermagnet, c = Elektromagnet, d = Tonkopf

Abb. 41 Hier wird aus einem verbogenen Dauermagnet zunächst ein Elektromagnet mit Luftspalt und daraus ein Tonkopf, in diesem Fall der Aufsprechkopf

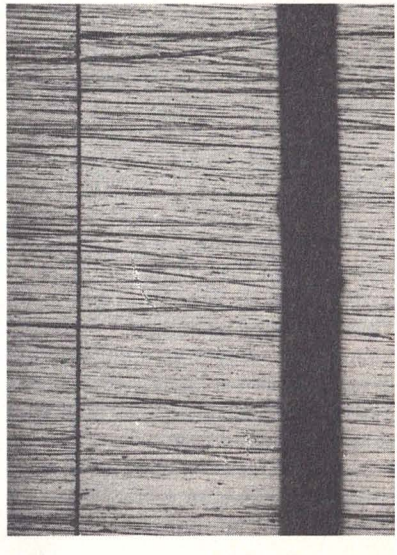


Abb. 42 Die dünne Linie links ist nicht etwa ein menschliches Haar, sondern der Spalt eines Wiedergabekopfs. Das Haar ist der dicke schwarze Balken rechts daneben (Werkaufnahme: BASF)

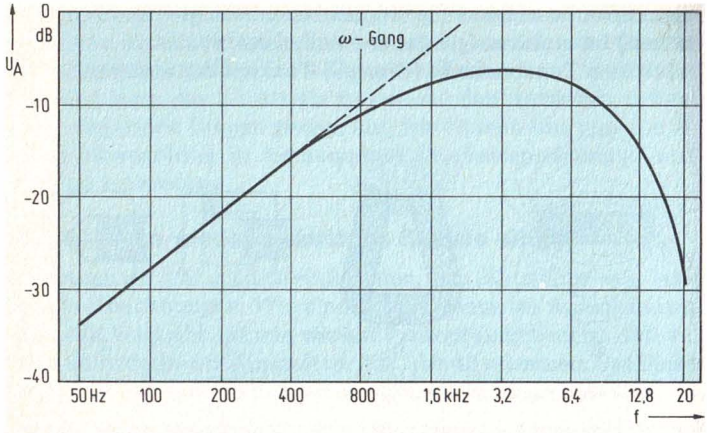


Abb. 43 Daß die Ausgangsspannung des Wiedergabekopfes nicht dem ω-Gang folgt, ist Schuld der Spaltbreite

gnal mit der Frequenz. Dieser ω-Frequenzgang knickt aber bald um, wie *Abb. 43* zeigt. Schuld daran ist die Spaltbreite des Wiedergabekopfs, genauer gesagt, das Verhältnis dieser Breite zur Aufzeichnungswellenlänge. Und die hängt direkt von der Bandgeschwindigkeit ab. Was wir aber brauchen, ist ein brettelebener Frequenzgang. Deshalb müssen wir das vom Tonkopf kommende Signal noch entzerren. Hierfür enthält jedes Tonbandgerät, gleich ob für Spulen oder Cassetten, einen Wiedergabeentzerrer. Weil nun aber die Höhen in den Amplitudenspektren von Musik und Sprache von 500 Hz an mit im Mittel um 6 dB/Oktave abfallen, spricht man sie schon bei den Aufnahmen verstärkt auf. Dieser Vorverzerrung genannte Vorgang bringt noch einen weiteren Vorteil, daß wegen der dann fehlenden Höhenanhebung im Wiedergabeentzerrer auch das Rauschen niedrig bleibt, ein Problem, das uns vor allem bei den niedrigen Bandgeschwindigkeiten so sehr zu schaffen macht.

Hatten wir die Tonbandwiedergabe bisher monofon gesehen, so bereitet es weder gedanklich noch praktisch Schwierigkeiten, Tonkopf und Wiedergabeverstärker samt Entzerrer zu verdop-

peln. Ein wenig heikel bleibt lediglich das Übersprechen von Kanal zu Kanal, weil die beiden sich sehr nahestehenden Tonköpfe nicht ganz einfach voneinander zu entkoppeln sind. Aber auch dieses Problem ist inzwischen so gut gelöst, daß die Ortung der Schallquellen nicht mehr hörbar beeinträchtigt ist. Die entzerrten Signale brauchen jetzt nur noch in den eingebauten Endstufen oder in der Hi-Fi-Anlage in Leistung umgesetzt und in den Lautsprecherboxen in Schall umgewandelt zu werden.

Etwas komplizierter schon ist es, der Schallplatte die Töne zu entlocken. Aber nur, weil hier die Signalumwandlung einige Probleme aufwirft. Deshalb gibt es auch so viele in Aussehen, Technik, Qualität und Preis unterschiedliche Tonabnehmersysteme. Die wollen wir uns jetzt einmal etwas näher ansehen.

Was wird von einem guten Tonabnehmersystem erwartet? Nun, es soll die beiden in der gemeinsamen Rille liegenden Stereosignale mit einer einzigen Nadel abtasten, dann aber wieder möglichst vollständig voneinander trennen. Dabei soll es die mechanischen Aufzeichnungen in möglichst unverzerrte elektrische Signale umwandeln. Dies gilt sowohl für lineare als auch für nichtlineare Abweichungen. Und außerdem soll es den Ausschlägen in der Rille so wenig wie möglich Gegenkräfte entgegensetzen, die dazu führen, daß Nadel und Rille allmählich abgeschliffen werden. Daß bei allen drei Forderungen auch die Führung des Abtastsystems – sprich Tonarm – mit hineinspielt, ist unvermeidlich. Denn ohne eine solche Führung geht es nun einmal nicht. Abtastsystem und Tonarm müssen deshalb als eine Einheit angesehen werden. Wenn wir sie hier trotzdem getrennt betrachten, dann nur deshalb, weil wir uns nicht den Kopf des Entwicklers zu zerbrechen brauchen, der beider Zusammenspiel zu optimieren hat. Und für getrennte Tonarme werden ohnehin die passenden Abtastsysteme empfohlen, ebenso für festeingebaute Tonarme, deren Systeme sich auswechseln lassen.

Wie man es nun schafft, die beiden Kanäle wieder voneinander zu trennen, läßt *Abb. 44* gut erkennen. Die Keramikwandler geben nämlich nur dann eine Spannung ab, wenn sie in der eingezeichneten Richtung bewegt werden. Hier trennen also einfache, in Druckrichtung steife und in Biegerichtung weiche Kopplungsstege die beiden mechanischen Bewegungsrichtungen.

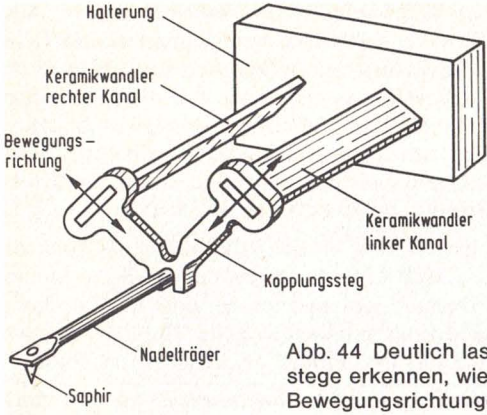


Abb. 44 Deutlich lassen die Kopplungsstege erkennen, wie die beiden Bewegungsrichtungen voneinander getrennt werden

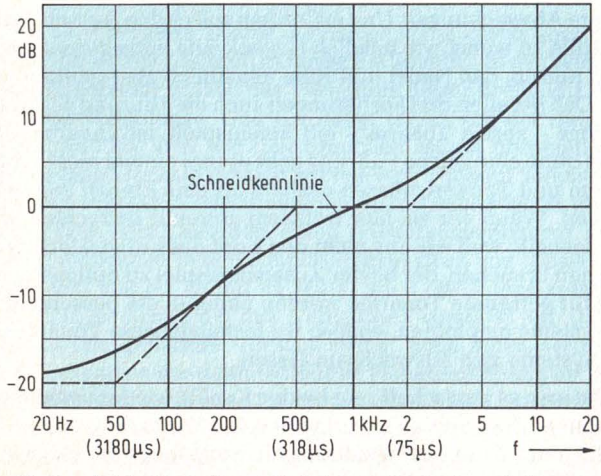


Abb. 45 So sieht die weltweit übliche Schneidekennlinie aus. Ihre Steilheiten setzen sich aus den drei angegebenen Zeitkonstanten zusammen

Als erstes Beispiel wurde absichtlich ein Keramiktonabnehmer erwähnt. Denn erstens sind diese heute schon so gut, daß etliche Typen den Forderungen der DIN 45500 genügen, obwohl sie recht billig gefertigt und auch angeboten werden, und weil sie zweitens sehr deutlich demonstrieren, wozu man die Vorverzerrung beim Aufzeichnen der Schallplatten braucht. Vorverzerrung bedeutet hier, daß die einzelnen Frequenzen mit unterschiedlichen elektrischen Amplituden aufgezeichnet werden; und zwar wächst die elektrische Amplitude der Aufzeichnung mit der Frequenz *(Abb. 45)*. Die Steilheit dieser Kennlinie wurde nun bewußt so gewählt, daß piezoelektrische Tonabnehmer, zu denen auch die billigen Kristallsysteme und die schon recht hochwertigen Keramiktonabnehmer gehören, dann die Aufzeichnung recht linear wiedergeben, auch ohne Entzerrervorverstärker. Dies ist einfach historisch bedingt, und auch heute noch enthalten die vielen Nicht-Hi-Fi-Plattenabspielgeräte derartige Systeme.

Natürlich hat die Schneidkennlinie noch einen anderen Grund. Die mechanische Amplitude wird nämlich mit sinkender Frequenz immer größer, weil elektromagnetische Wandler die elektrische Intensität in Schnelle umsetzen; und die ist das Produkt aus Kreisfrequenz ($2\pi f$) und mechanischer Amplitude. Das dem so ist, beweist jede „offene" Lautsprecherbox. Die Tieftonsysteme lassen die großen mechanischen Amplituden bei kräftigen Bässen deutlich erkennen. Da die anschließend behandelten Magnetsysteme als ebenfalls elektromagnetische Wandler ein der aufgezeichneten Schnelle proportionales Signal abgeben, brauchen sie eigene Entzerrer.

Nicht so die piezoelektrischen Wandler. Sie geben als kapazitive Wandler ein der mechanischen Amplitude proportionales Signal ab.

In diesem Zusammenhang muß aber noch erwähnt werden, daß keramische Hi-Fi-Systeme elektrisch so stark gedämpft betrieben werden, daß ihre Ausgangsspannung jetzt der Schnelle proportional ist und nun ein Entzerrervorverstärker benötigt wird. Damit wird erreicht, daß ihre nichtlinearen Verzerrungen erheblich sinken. Wie man so die Qualität piezoelektrischer Tonabnehmer steigern kann, wurde in ELO 2/1975 beschrieben.

Die damit erreichte Wiedergabequalität und der niedrige Preis keramischer Tonabnehmer würde sie ebenfalls zu den am mei-

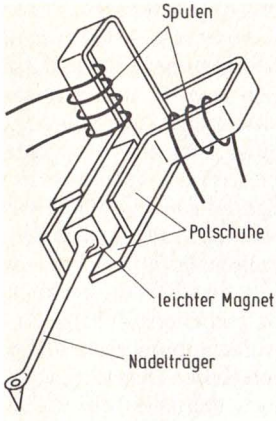


Abb. 46 Im Prinzip sind alle magnetodynamischen Stereo-Tonabnehmer so aufgebaut. Der Magnet wird von der Rillenaufzeichnung bewegt

sten verbreiteten Hi-Fi-Tonabnehmern prädestinieren, wenn sie nicht einen entscheidenden Nachteil hätten: zu große Rückstellkräfte, die eine hohe Auflagekraft erfordern. Die aber sorgt für einen zu raschen Verschleiß von Platten und Nadel. Die gewünschte hohe Nachgiebigkeit, in neudeutsch Compliance, erreicht man am bequemsten mit magnetischen Systemen, die deshalb eine besonders gute Abtastfähigkeit (Tracking Ability, kurz Trackability) haben.

Weshalb das so ist, zeigt Abb. 46 recht deutlich: die Nadel bewegt über ein hauchdünnes Aluminium-Ankerröhrchen einen winzigen Permanentmagneten, dessen Bewegungen in den beiden Spulen elektrische Ströme induzieren. Die zu bewegenden Massen betragen nur einige Milligramm. Mehr dürfen es auch nicht sein, denn beim Abtasten von CD-4-codierten Quadro-Schallplatten wird dieses Nadel-Anker-System bis zu 45 000mal je Sekunde hin- und hergeschleudert.

Recht gut läßt *Abb. 46* auch erkennen, wie die magnetischen Wechselfelder der beiden Aufzeichnungskanäle getrennt werden: nur in dem Polpaar, zwischen dem sich der Magnet auf- und abbewegt, entsteht ein Wechselfluß und damit in der Spule elektrische Spannung.

Nicht in Abb. 46 enthalten ist jenes winzige Federchen, das die Nadel nach unten drückt, um die für die Tonarmführung ebenso wie für die Nadelführung unerläßliche Auflagekraft zu kompensieren. Dabei kommt es im Interesse geringster Verzerrungen darauf an, daß der Magnet in der Ruhelage genau zentrisch steht, um die größtmöglichen Ausschläge nach allen Richtungen ausführen zu können. Nun läßt sich aber gerade dieses Federchen nicht so eng tolerieren, daß dies genau bei einem bestimmten Auflagedruck der Fall ist. Deshalb geben die Systemhersteller auch immer einen Auflagekraftbereich (und keinen Einzelwert) an, und deshalb auch der folgende Tip: Stellen Sie die optimale Auflagekraft mit einer Schallplatte ein, von der Sie wissen, daß Fortestellen mit besonders großer Schnelle aufgezeichnet sind. Dabei verändern Sie die Auflagekraft nach oben und nach unten, bis jeweils die ersten Verzerrungen zu hören sind. Messen Sie die beiden Kräfte jetzt mit einer Tonarmwaage und stellen Sie anschließend den Auflagedruck auf die Mitte zwischen diese beiden Werte ein. Damit liegen Sie für Ihren eigenen, höchst individuellen Tonabnehmer genau richtig. Dieser Wert hält viele Jahre, denn das Federchen erschlafft kaum.

Stereo-Magnetsysteme gibt es in den unterschiedlichsten Preis- und Qualitätsklassen. Allen gemeinsam ist, daß sie relativ kleine Ausgangsspannungen abgeben – etwa 0,5 bis 1,5 mV/cms^{-1} – und deshalb im Gegensatz zu piezoelektrischen Tonabnehmern einen Vorverstärker brauchen, der zugleich die Schneidkennlinie wieder entzerrt. Wie ein solcher Entzerrervorverstärker geschaltet werden kann, folgt später.

Noch geringere bewegte Massen als magnetodynamische Tonabnehmer – wie die „Magnetischen" richtig heißen – haben die elektrodynamischen (moving coil). *Abb. 47* zeigt weshalb.

Im Prinzip ähneln diese Systeme dynamischen Lautsprechersystemen oder auch dynamischen Mikrofonen. Und es ist auch zu verstehen, daß sich die winzigen Spulen noch masseärmer fertigen lassen, wenn man sich mit wenigen Windungen begnügt. Dann sind die Ausgangsspannungen aber so winzig, daß man nicht mehr ohne Aufwärtstransformator auskommt. Der aber hat zwei Nachteile: erstens sein Preis, der bei der geforderten Qualität nicht niedrig sein kann, und zweitens seine Empfindlichkeit

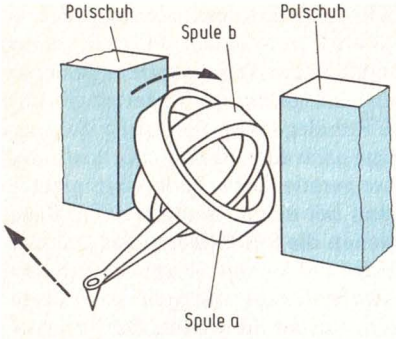


Abb. 47 Beim „moving coil"-Tonabnehmer steht der Magnet fest, und die Spulen werden bewegt

gegen Brummfelder, die überall da herumschwirren, wo Wechselstrom fließt. Und das tut der im ganzen Haus. Trotzdem gehören elektrodynamische Abtastsysteme zu den hochwertigsten überhaupt.

Noch andere Systeme, wie Kondensator-, fotoelektrische und Halbleiter-Tonabnehmer, haben bisher noch keine praktische Bedeutung erlangt. Das schließt aber nicht aus, daß sie in Zukunft noch welche erlangen könnten, falls dann nicht die laserstrahlabgetastete Audio-Langspiel-Platte dominiert.

Ist es Ihnen eigentlich aufgefallen, daß von der Forderung nach geringstmöglichem Übersprechen zwischen den Kanälen noch nicht allzuviel die Rede war? Und auch noch nicht von den Verzerrungen? Das hat seinen Grund. Beide hängen nämlich auch noch mit dem Tonarm zusammen, der später kommt. Beide aber haben viel mit der Geometrie zu tun, was hier aber weiter nichts anderes heißt, als daß die Tonabnehmersystem-Achsen eben schön senkrecht zur Plattenoberfläche, parallel zu ihr und parallel zur Rillentangente stehen müssen. Dann bleibt das Übersprechen am kleinsten.

Daß darüber hinaus die Übersprechdämpfung bei 1 kHz angegeben wird, hängt – wie wir schon gesehen hatten – mit der größten Empfindlichkeit unseres Gehörs für derartige Dinge in diesem Bereich zusammen. Weiter „oben" werden die Übersprechwerte schlechter. Da stören sie aber nicht mehr sehr.

Bei den Verzerrungen müssen wir wieder zwischen linearen und nichtlinearen unterscheiden. Die linearen haben ihren Grund in der Tonarmresonanz – wenigstens im tiefsten zu übertragenden Frequenzbereich und in der Masse und Eigenresonanz der bewegten Teile des Tonabnehmersystems. Deshalb also die häufig zu findende Resonanzspitze im Frequenzgang des Systems zwischen 10 kHz und 20 kHz, bei CD-4-Tonabnehmern oft noch höher. Dazwischen, im mittleren Tonfrequenzbereich, benehmen sich hochwertige Abtastsysteme meistens fast linealglatt. Die Schwierigkeiten haben sie eher „oben", wie die Oszillographen von zu übertragenden Rechteckkurven beweisen. Damit kommen wir unweigerlich zu den Abtaststiften. Sie bestehen heute fast ausschließlich aus Saphiren und Diamanten, wobei Diamanten etwa zehnmal so lange arbeiten wie Saphiere. Sie sind eben härter und teurer. Auf die nichtlinearen Verzerrungen hat das Material – solange neu – keinen Einfluß, wohl aber der Schliff. Und da gibt es sphärisch verrundete und elliptisch verrundete

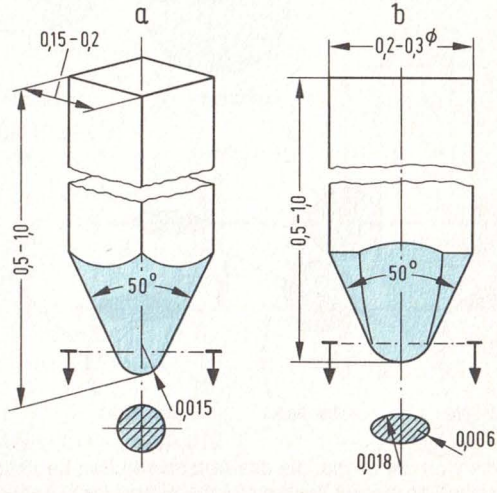


Abb. 48 Sphärisch und elliptisch verrundete Abtaststifte und ihre Abmessungen

(biradial geschliffene) Nadeln *(Abb. 48)*. Die biradialen mit ihrem elliptischen Querschnitt passen sich den engeren Wellenlinien auf den inneren Rillen – wo sie bei hohen Tönen besonders kurz sind – besser an. *Abb. 49* zeigt dies sehr deutlich. Was aber in Abb.

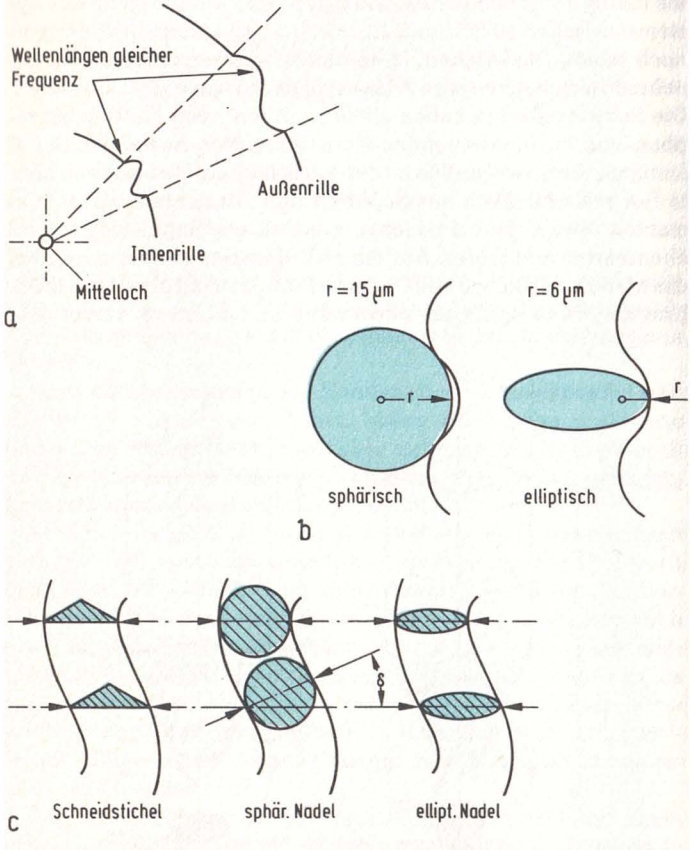


Abb. 49 Das sind die Dinge, die das Abtastverhalten beeinflussen: a) die unterschiedlich langen Wellen gleicher Frequenz in Außen- und Innenrille, b) der Radius des Abtaststifts und c) die mit der Rillenwindung „wandernde" Bezugsachse der sphärischen Nadel

49 nicht zu erkennen ist, das sind die beiden Flächen, mit denen sie auf den Rillenflanken aufliegen. Die sind bei den elliptisch geschliffenen Nadeln so winzig, daß Auflagedrücke entstehen, die mehr als einer Tonne pro Quadratzentimeter entsprechen! Das hält selbst der härteste Diamant nicht aus, wenn nicht zugleich die Auflagekraft niedriger eingestellt wird als bei den sphärisch geschliffenen Abtaststiften. Damit aber werden nun höhere Forderungen an die Compliance gestellt. Am kritischsten wird dies bei CD-4-Abtastern, deren Nadeln deshalb bielliptisch geschliffen sind, um so größere Auflageflächen zu erhalten. Aus *Abb. 50* geht hervor, wie so etwas bei der bekanntesten derartigen Nadel, der Shibata-Nadel, aussieht; und *Abb. 51* läßt erkennen, um wieviel flächiger diese Nadel in der Rille liegt. Daß die Nadel trotzdem nicht allen Rillenauslenkungen exakt folgen kann, zeigen die *Abb. 52* und *53*, die Spurverzerrungen und Klemmeffekte bei Seitenschrift bzw. Spurverzerrungen bei Tiefenschrift demonstrieren. Denn immer noch sind da, konstruktions-(und abrieb-)bedingt,

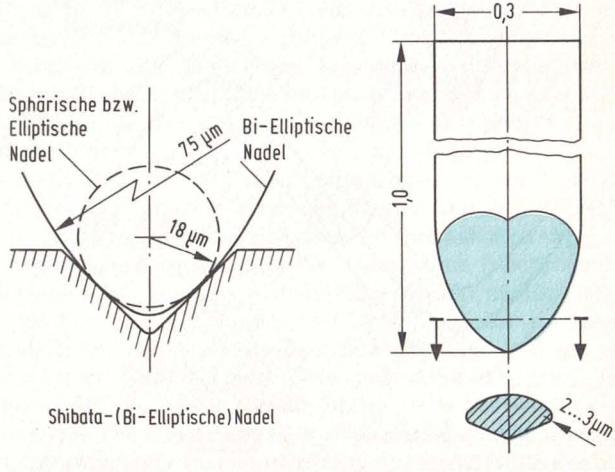


Abb. 50 So ist die Shibata-Nadel geschliffen, um ihre Auflagefläche zu vergrößern

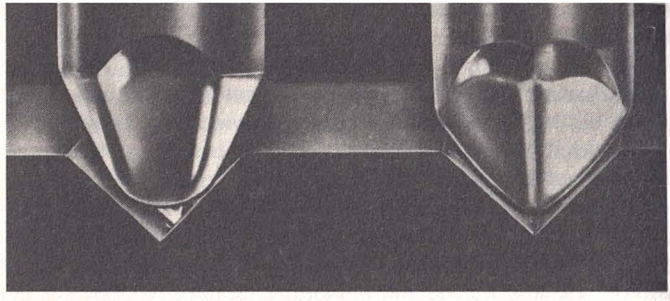


Abb. 51 Auch diese Aufnahme zeigt, wieviel besser sich die Shibata-Nadel der Rillenwand anschmiegt. Links ein elliptisch geschliffener Diamant

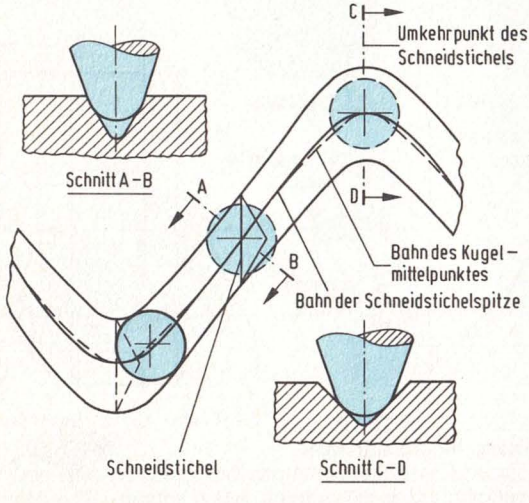


Abb. 52 So entstehen Spurverzerrungen und Klemmeffekt. Schuld daran ist der Schneidstichel

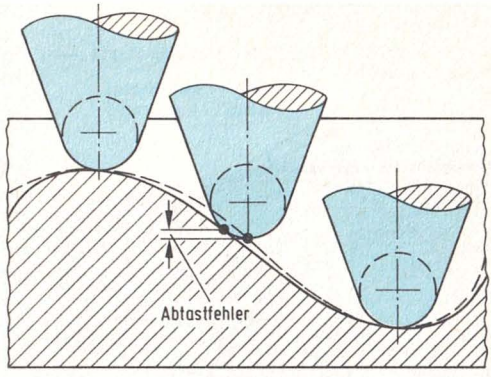


Abb. 53 Das ist der unvermeidliche Abtastfehler bei den Tiefenschriftanteilen in der Stereospur

Rundungen, wo der Schneidstichel eckig ist. Da wird im Falle der Abb. 52 die Rille enger und die Nadel angehoben, so daß sie unter Umständen leicht klemmt – daher der Name Klemmeffekt; und da sitzt sie in Abb. 53 nicht mit ihren untersten Punkten der Berührungsfläche an den Rillenflanken auf, so daß sich Abweichungen ergeben, die zu – wenn auch geringen – nichtlinearen Verzerrungen führen.

Da wir hieran nichts ändern können, sprechen wir lieber noch kurz über den Tonarm. Sicher ist es Ihnen schon aufgefallen: kein Tonarm ist ganz gerade. Entweder ist er vorne seitlich abgeknickt (europäisches Konzept) oder aber fernöstlich (noch) sanft geschwungen. Mit beiden wird das gleiche erreicht, nämlich, daß die Längsachse des Tonabnehmersystems möglichst die gleiche Richtung beibehält wie die Tangente der Rille. Daß das nicht überall geht, bemerken wir spätetstens dann, wenn wir daran denken, daß die Nadel wie die Spitze eines Pendels in einem Kreisbogen über die Schallplatte geführt wird. Und da würde diese Forderung nach gleicher Richtung nur in der Mitte des abzuspielenden Rillenbereichs sein, wenn diese Kröpfung nicht wäre. So aber schafft man es an zwei Punkten *(Abb. 54)*, und der verblei-

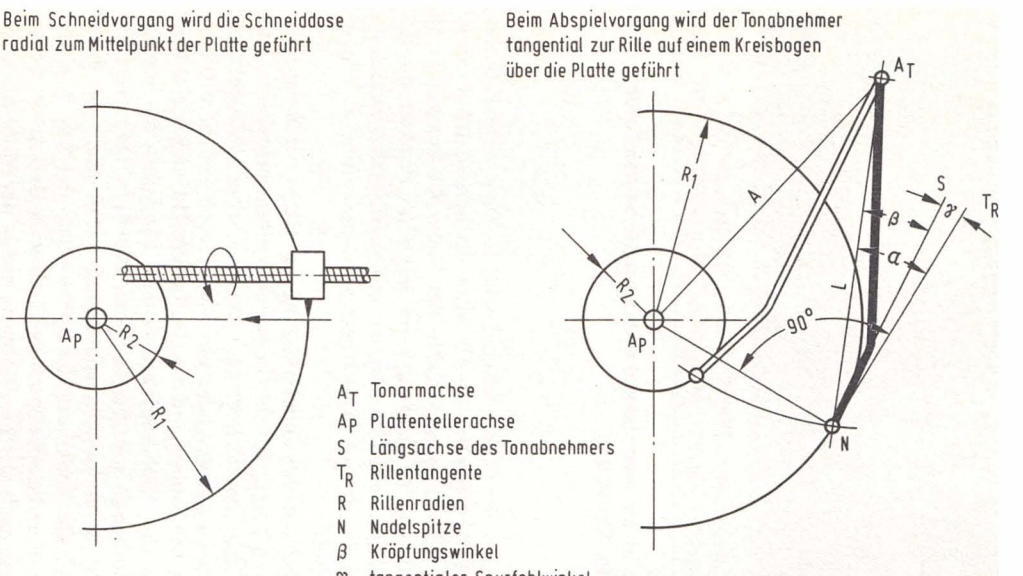


Abb. 54 Der Schneidstichel wird senkrecht zu den Rillen geführt, der Tonarm im Kreisbogen. Mit der Kröpfung wird nun erreicht . . .

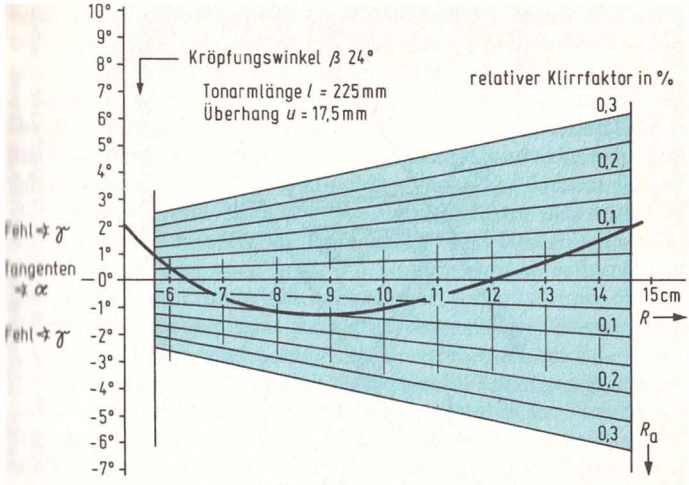


Abb. 55 . . ., daß der tangentiale Spurfehlwinkel wenigstens an zwei Stellen gleich Null ist. Hier kann man auch gleich den relativen Klirrgrad ablesen

bende Spurwinkel bleibt genügend klein *(Abb. 55)*. Und mit ihm natürlich tun es auch die Verzerrungen. Aber damit handeln wir uns etwas anderes ein. Die Nadel kriegt nun einen Drall nach innen. Das sieht man sehr deutlich auf der Rückseite von nur einseitig bespielten Schallplatten (gibt es kaum noch). Dieses Schlittern heißt englisch Skating und muß kompensiert werden. Jedes Plattenabspielgerät hat eine derartige einstellbare Skating-Kompensation mit getrennten Skalen für sphärisch und biradial geschliffene Nadeln. Denn die zerren den Tonarm unterschiedlich stark nach innen. Wirklich exakt kann man diese Skating-Kompensation nur mit Meßschallplatten einstellen, die Töne mit steigender Schnelle enthalten. Und da muß man halt aufpassen und in den Kopfhörer hineinkriechen, wenn's zu verzerren beginnt. Alles, was nur einseitig zerrt, ist noch nicht skatingkompensiert. Weil das aber nicht jeder hat und kann, stellen wir eben die Skating-

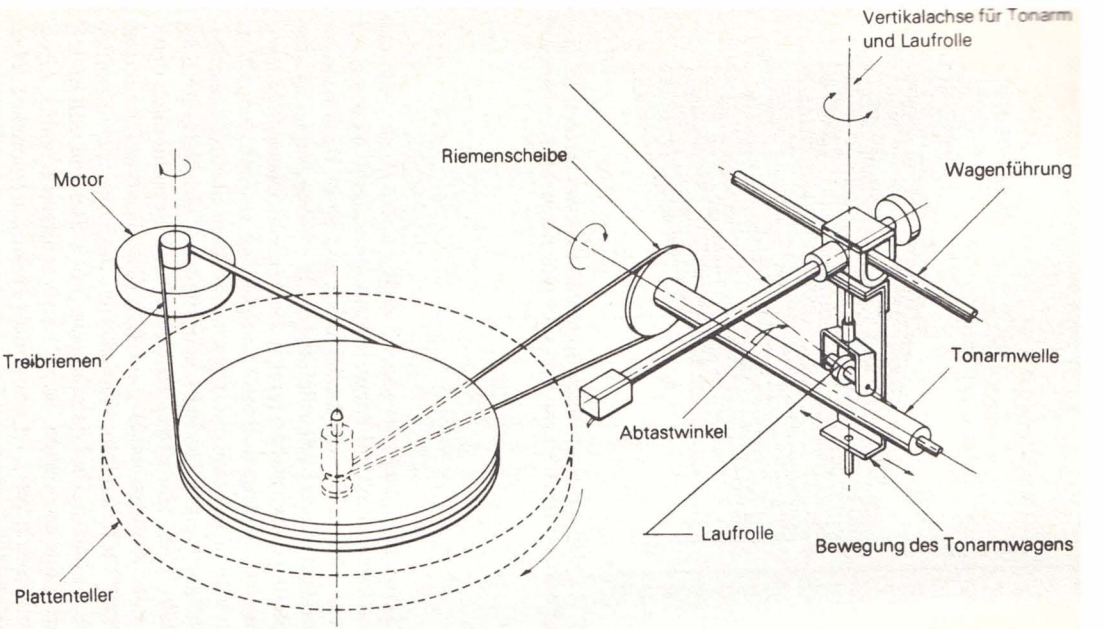


Abb. 56 Dies ist eine der Möglichkeiten, einen Tangentialtonarm mit der Rille zu führen

Kompensation nach dem (gemessenen) Auflagedruck auf der Anti-Skating-Skala ein und hoffen, daß unsere Schallplatten nicht mit extrem hohen Schnellen geschnitten sind.

Bleiben wir noch weiter beim Tonarm. Wenig, sehr wenig Masse soll er haben, damit die Berg- und Talfahrt auf gewellten Schallplatten nicht zu weiteren Verzerrungen führt, und sehr, sehr steif soll er sein, damit die Nadelausschläge nicht den Tonarm verbiegen, wodurch schließlich der Übertragungsfaktor des Abtastsystems sich Null nähert. Der Tiefenabfall rührt tatsächlich daher. Und dann müssen auch noch die Tonarmlager so reibungsarm wie möglich sein, natürlich nebst denen jener Leitung, die die elektrischen Signale zum Entzerrervorverstärker transportiert. Aber diese Dinge sind Sache des Konstrukteurs, und es ist erstaunlich, auf welch vielfältige Weise hierfür Lösungen gefunden werden. Die aufwendigste, beste (und teuerste) ist der Tangential-Tonarm, bei dem Spurfehlwinkel und Skating-Kompensation entfallen. Denn er wandert mit der Rille, und deshalb bleibt seine Längsachse auch immer exakt der Rillentangente parallel. Dafür aber braucht er einen Antrieb, der im „einfachsten" Fall über einen weiteren Riemen von der Plattentellerachse bewegt wird *(Abb. 56)*. Ein anderer wird optoelektronisch gesteuert, indem ein Lichtstrahl, der von einem getrennten Führungsarm ausgeht, über einen Fotowiderstand den genauen Aufsetzpunkt für die Nadel ermittelt. Weitere Fotowiderstände steuern die weiteren Bewegungen dieses Lineartonarms abhängig von der Rillensteigung. Das macht natürlich einen eigenen Motor und eine recht aufwendige Elektronik notwendig.

Wegen des in jedem Fall hohen technischen Aufwands werden Tangentialtonarme bisher erst von wenigen Herstellern angeboten.

7 Stereo – drahtlos geliefert

Die Geschichte der heutigen Stereofonie ist die Geschichte des Stereo-Rundfunks. Ohne ihn wäre auch jetzt noch der Besitz eines Stereo-Plattenspielers oder eines Stereo-Tonbandgeräts der Luxus einiger Weniger. So aber haben wir bereits eine Stereo-Sättigung von über 30 % der bundesdeutschen Haushalte, wobei vom Plastikplattenspieler mit eingebauten Transistorverstärkern und beigefügten Primitivlautsprecherboxen – die, jedes Teil für sich, gerade so eben den Forderungen der DIN 45 500 genügen – bis hin zur Edel-Luxus-Hi-Fi-Anlage im Wert eines Rolls Royce, alles mitgezählt ist. Die Billiganlagen überwiegen (noch) – von den Mittelklasseanlagen dicht gefolgt.

Natürlich hat es auch beim Stereo-Rundfunk nicht an Vorversuchen gefehlt. Einer der ersten fand im Berlin der frühen 50er Jahre statt. Wer zwei Mittelwellenempfänger sein Eigen nannte, konnte in jenen Tagen die erste stereofone Übertragung von Rundfunkprogrammen empfangen und war begeistert. Obwohl die beiden Empfänger in ihren Eigenschaften nur zu oft sehr unterschiedlich waren. Aber Hi-Fi war noch nicht allgemein bekannt, und so wurde eben genossen, was man vorgesetzt bekam. Am Ort ging das wegen der hohen Feldstärken auch recht leidlich, aber es war den Rundfunkgewaltigen von Anfang an klar, daß es so eben in Zukunft nicht gehen konnte. Es gab zu wenig Frequenzen, und die Bandbreiten reichten ebenfalls nicht aus. Amerika hat es da heute noch besser und wegen des 10-kHz-Kanalrasters auch bald einen brauchbaren MW-Stereo-Rundfunk. Allerdings ebenfalls codiert. Aber darauf kommen wir noch. Das Problem war es nämlich, die beiden Stereokanäle in einem Rundfunkkanal mit hoher Übertragungsqualität unterzubringen. Machen wir's kurz. Der UKW-Rundfunk mit seinen Kanalbreiten von 300 kHz begann sich eben durchzusetzen. Und da bot es sich natürlich an, die Stereosignale so miteinander zu verschachteln – zu codieren–, daß sie in einen Übertragungskanal paßten.

Wie das geschehen konnte, machten uns wieder einmal die Amerikaner vor. Am 20. April 1961 gab die amerikanische Bundesnachrichtenbehörde ein System frei, das von den Firmen General Electric und Zenith Radio Corp. entwickelt und vom National Stereophonic Radio Committee endgültig fixiert wurde. Es sollte die folgenden Bedingungen erfüllen:

a) Vollständige Kompatibilität. Dieses Schreckenswort für jeden Entwickler besagt nicht weniger, als daß das Stereosignal auch von jedem Mono-UKW-Rundfunkempfänger wiedergegeben werden muß, nur eben monofon. Trotzdem darf außer der Richtungsbezogenheit nichts daran fehlen. Das gab es in Berlin noch nicht. Wer einen der beiden Mittelwellenempfänger abschaltete, hörte nur noch eine Seite.

b) Der Versorgungsbereich muß erhalten bleiben. Wir wissen heute, daß dies nur mit der Einschränkung zutrifft, daß die weiter vom Sender ab wohnenden dann eben mit Monoübertragung zufrieden sein müssen.

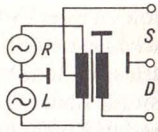
c) Der Frequenzbedarf darf nicht wachsen. Die Codierung macht das möglich, wenn auch nur bedingt.

d) Der Aufwand muß klein bleiben. Dieser Punkt ist heute am umstrittensten. Nicht wegen des grundsätzlichen Aufwands. Der besteht im zusätzlichen Stereodecoder und im zweiten notwendigen Verstärker samt Lautsprecher. Vervielfacht hat sich der Aufwand nur da, wo es um höchste Wiedergabequalität geht. Da aber wird es sehr preisaufwendig. Das beweist jeder Blick auf die Preise höchstwertiger Stereo-Rundfunkempfänger (samt den übrigen Anlageteilen).

Der eigentliche Witz also ist die Codierung. Und der kam zugute, daß sich die Signale L (links) und R (rechts) addieren und subtrahieren lassen; also L + R und L – R, und daß man daraus die Seitensignale wieder zurückgewinnen kann, wenn man nach der Übertragung dieses Zusammenzählen und Abziehen wieder rückgängig macht.

Bevor wir darüber sprechen, weshalb man dieses tut und was es für Vorteile mit sich bringt, sehen wir es uns lieber erst einmal an, wie man dieses tut, zumindest theoretisch. Die Praxis ist dann ohnehin einfacher. Wir erleichtern uns aber so das Weiterdenken, das ohnehin am schwierigsten ist.

Abb. 57 So macht man aus Rechts-links-Signalen Summensignale . . .,



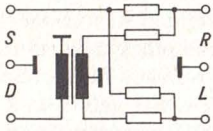


Abb. 58 . . . und so erhält man sie wieder zurück

Da sehen wir also in *Abb. 57* eine Transformatoranordnung, den einfachsten Codierer – oder Encoder, wie das die Amerikaner nennen. Einen Transformator deshalb, weil den auch die Nur-Elektriker kennen. Außerdem kommt der unweigerlich in jedem Physikunterricht vor. Besagtem Transformator also führen wir das Links- und das Rechtssignal zu; dargestellt durch zwei Wechselstromgeneratoren. Weil es sich in den Extremfällen am leichtesten denken läßt, nehmen wir einmal an, die beiden Signale seien gleich, wie das bei jedem Mittensignal (und Monosignal) zutrifft. Und daß an den Außenanschlüssen der Primärwicklung jeweils die gleiche Phase liegt. Dann bekommen wir diese Signale auch an der Mittenanzapfung der Primärwicklung (gegen Masse) wieder, nur jetzt doppelt so groß. Einfach, weil sich die beiden Signale summieren. Und so steht am Ausgang S (Summe) jetzt das Summensignal R + L, was das gleiche wie L + R ist. Summanden lassen sich bekanntlich vertauschen.

Die Sekundärwicklung unseres Übertragers sieht das völlig anders. Für sie heben sich wegen der Gleichphasigkeit an den Enden der Primärwicklung die beiden Signale auf, und das Differenzsignal am Ausgang D (Differenz) ist Null. Muß es auch, wenn beide Eingangssignale gleich groß sind. Sind sie es nicht, bleibt also die Differenz.

Bei völlig entgegengesetzten Phasen der Eingangssignale wird die Summe Null und die Differenz gleich dem doppelten Eingangssignal, was sich mathematisch leicht beweisen läßt: 1 + (–1)

= 0 und 1 – (–1) = 2. Eins hier deshalb, weil beide Signale ja sonst völlig gleich sind. Außerdem leuchten Ziffernbeispiele eben leichter ein.

Bleiben also noch die vielen Zwischenwerte. Sie sind es, die das eigentliche Stereosignal ausmachen. Und da es kaum vorkommt, daß die Seitensignale einander völlig entgegengesetzt gerichtet sind, ist das Summensignal immer größer als das Differenzsignal. Es enthält außerdem alles, was in den beiden Stereo-(Seiten-)signalen steckt, in sich und ist deshalb kompatibel. Jedes monofone UKW-Taschenradio gibt so alles wieder, nur eben einkanalig. Und jedes bessere UKW-Radio enthält so etwas ähnliches, wie in *Abb. 58*, nämlich einen Decoder. Hier wieder einen in seiner Primitivstform. Aber seine Wirkungsweise erklärt sich so aus dem, was wir zu Abb. 57 gelesen haben, von selbst. Alles funktioniert nun umgekehrt: was addiert wurde, wird jetzt subtrahiert, und was subtrahiert wurde, jetzt addiert. Das geht natürlich nur dann, wenn die Signale richtig zusammengeführt werden. Deshalb sind in Abb. 58 noch vier gleichgroße Widerstände mit enthalten, die ein Gebilde bilden, das sich hochtrabend Matrix nennt.

In der Praxis arbeitet man natürlich in Encoder und Decoder mit Halbleitern. Und weil die sich seit einigen Jahren in IS aufhalten, ist es eigentlich witzlos, sie noch groß zu besprechen. Denn im Falle eines Falles können wir an ihnen ja doch nichts mehr reparieren, sondern wir müssen sie austauschen. Mancher Techniker mag diese Entwicklung bedauern. Er hat Unrecht. Je weniger man an so komplizierten Dingen, wie es die Stereo-Decoder nun einmal sind, herumdrehen kann, desto weniger werden sie verzerren.

Bis jetzt haben wir eigentlich nur gesehen, wie man die Seitensignale kompatibel kriegt, nicht aber, wie man sie überträgt. Beim Summensignal ist das einfach: wie bisher das Monosignal auch. Und beim Differenzsignal behilft man sich mit einem einfachen, aber genialen Trick. Man moduliert es in Amplitudenmodulation auf einen 38-kHz-Hilfsträger *(Abb. 59)*. Dieses zusammengesetzte, jetzt Stereo-Multiplex-Signal genannte Signal wird nun als Ganzes im UKW-Sender auf den Träger frequenzmoduliert, im Empfänger demoduliert und erst dann decodiert. Das muß man sich ganz genau vor Augen halten, denn nur dann kann man wirklich

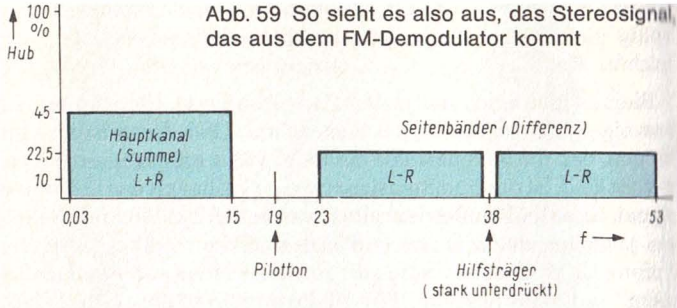


Abb. 59 So sieht es also aus, das Stereosignal, das aus dem FM-Demodulator kommt

verstehen, was da passiert. Also noch einmal: Das zusammengesetzte Signal ist das, was als NF aus dem FM-Demodulator des UKW-Stereoempfängers herauskommt. Und erst nach der Decodierung werden daraus wieder die Seitensignale. Fehlt der Decoder (im Monoempfänger), so hören wir nur das kompatible Summensignal, das Differenzsignal liegt ja außerhalb des Hörbereichs.

Nun sehen wir aber in Abb. 59 zwei Differenzsignale. Das hängt einfach mit der Amplitudenmodulation zusammen. Da werden immer zwei Seitenbänder gebildet. Hier enthalten sie, säuberlich getrennt, die Signale L–R und R–L. Und dann sehen wir da noch den Pilotton 19 kHz. Mit dem hat es seine Bewandtnis. Um nämlich einen größeren Aussteuerbereich zu erhalten, wird der 38-kHz-Hilfsträger bei der Codierung unterdrückt, und wir erhalten so ein Zweiseitenbandsignal mit unterdrücktem Träger. Den brauchen wir aber bei der Decodierung unbedingt wieder. Also übertragen wir noch den 19-kHz-Pilotton, der diesem Pilottonverfahren auch seinen Namen gibt und verdoppeln bei der Decodierung seine Frequenz. Das Ganze muß nun völlig phasenstarr geschehen; dies aber ist bereits Sache der Sendertechniker und Empfängerentwickler. Uns genügt es zu wissen, daß in der Praxis alles bestens funktioniert, und daß der Pilotton auch noch die Stereoanzeige und den Mono-Stereo-Umschalter im Empfänger schaltet.

Schauen wir uns noch schnell die quantitative (zahlenmäßige) Seite der Sache an. Vom Qualitativen ist genug geredet, obwohl im Wort Qualität ja eine Doppelbedeutung enthalten ist. Wir sehen sie gleich an den Zahlen.

Das Summensignal reicht von 30 Hz bis 15 kHz. Mehr geht nicht; da ist der Pilotton im Wege. Und die Seitenbänder des Differenzsignals haben ebenfalls eine obere Grenzfrequenz von 15 kHz. Mehr wäre ja wohl auch unsinnig. Sie reichen also von 23 kHz bis 37,984 kHz und von 38,016 kHz bis 53 kHz. Die Aussteuerung, also der Frequenzhub, verteilt sich zu 45 % auf das Summensignal, den Hauptkanal, und zu je 22,5 % auf beide Seitenbänder. Bleiben also 10 % für den Pilotton. Und das ist auch einer der Gründe dafür, daß das Empfängereingangssignal zehnmal so groß wie ein Monosignal sein muß, um den gleichen Rauschabstand zu erreichen.

Man kann dem Stereo-Multiplex-Signal noch weitere Hilfsträger aufpfropfen, freilich auf Kosten des Stereosignals. Mehr als 100 % kann man schließlich nicht ausmodulieren. In den USA tut man solches für die Hintergrundmusik in Warenhäusern, Restaurants und so weiter. Freilich wieder zu Lasten der Stereoübertragung. Der mit 67 kHz geträgerte Kanal ist dort als SCA-Kanal (Subsidiary Communications Authority) bekannt.

Blättern wir noch einmal kurz zurück. Das Pilottonverfahren erfüllt die auf Seite 77 gestellten Forderungen a) vollkommen, c) und d) befriedigend. Die Forderung b) kann nicht erfüllt werden, denn die NF-Bandbreite müßte auf 53 kHz erweitert werden. Ebenfalls ein Grund dafür, daß der Rauschanteil um 20 dB größer ist, als bei Monoübertragung. Denn der Rauschbeitrag von Störfrequenzen steigt bei FM-Übertragung linear mit dem Abstand von der Empfangs-Mittenfrequenz an. Gute Stereo-Empfänger gehen heute, was die Eigenrauschleistung betrifft, an die Grenzen des Möglichen. Die Physik überlisten kann noch keiner. Deshalb braucht, wer entferntere Stereosender mit Genuß hören will, eine gute Antenne. Am besten eine drehbare, denn damit kann er zugleich Wellen ausblenden, die über Umwege einfallen, weil sie irgendwo reflektiert werden. So wie ihre Schwestern beim Fernsehen Geisterbilder verursachen, bringen diese wegen ihrer unterschiedlichen Laufzeiten ein fröhliches Zwitschern nebst weiteren nichtlinearen Verzerrungen. Sehr teure Tuner enthalten eine Mehrwegeempfangs-Anzeige, die derartiges auch noch optisch untermalt. Unterbinden kann sie es nicht.

Verzerrungen gibt es aber auch, wenn die Bandbreite des Empfängers zu schmal oder zu groß ist. Im ersten Fall, weil dann die Modulation beschnitten wird, im zweiten, weil dann Nachbarkanalstörungen durchdringen. 180 kHz werden mindestens gebraucht, 300 kHz sind die äußerste Grenze; dabei ist der Trägerversatz mancher Sender noch nicht berücksichtigt. Wenn nämlich zwei Sender einander stören, wird einfach von Amts wegen die Trägermitte des einen um 50 kHz oder 100 kHz gegenüber dem anderen verschoben. Und das sollen die Empfängerentwickler auch noch berücksichtigen!

Falls Sie nun einmal von dem eingestellten Sender plötzlich ein anderes Programm hören sollten, als das erwartete, dann braucht nicht unbedingt die AFC daran schuld zu sein. Bei Überreichweiten drückt nämlich der stärkere FM-Sender den schwächeren weg und macht sich breit. Diese Gleichkanalunterdrückung ist aber trotzdem eine der positiven Eigenschaften der Frequenzmodulation. Ohne sie würde es noch viel mehr zwitschern.

8 Jetzt geht's in die Praxis

Stereo kann die schönste Nebensache der Welt sein. Aber nur in der praktischen Ausübung. Wer nur Frequenz-Schallplatten hört, hat den Sinn des Ganzen nicht verstanden. Vielleicht wollte er seine HiFi-Anlage auch nicht mit ordinärer Musik entweihen. Gerade die aber ist es, die wir mit Genuß hören wollen. Jede Art von Musik, denn Einseitigkeit zeugt von Neurosen.

Bevor es aber soweit ist, erhebt sich sie Frage

8.1 Bauen oder Kaufen?

Was ein richtiger, gestandener Hobby-Elektroniker ist, weiß die Antwort aus schmerzlicher Erfahrung. Er kauft lieber. Obwohl auch Industriegeräte einmal ausfallen können. Aber dann sind es die Fehler der anderen, und er braucht nicht den Spott seiner Angehörigen zu fürchten. Daß trotzdem der Selbstbau wieder in Mode ist, beweisen die hohen Auflagen der Fachzeitschriften ELO und FUNKSCHAU. Wir sollten da aber differenzieren. Plattenspieler und Tonbandgeräte selbst zu bauen, bleibt bestenfalls eine Sache für Spezialisten, die darüber hinaus über eine feinmechanische Werkstatt verfügen. Auch Hi-Fi-Empfänger bedingen einen Meßgeräteaufwand, über den nicht jeder verfügt. Doch hier gibt es bereits Ausnahmen; siehe ELO, ab Heft 7/1977. Bleiben also noch die Verstärker und die Lautsprecherboxen.

Bleiben wir ein Weilchen bei diesen. Wir hatten uns darüber noch nicht unterhalten. Eine alte Binsenweisheit sagt, daß keine Anlage besser ist als ihre Lautsprecher. Was sich am einfachsten dadurch beweisen läßt, wenn man einmal ein „billiges" Steuergerät mit Erstklasse-Boxen betreibt und dann ein hochwertiges Steuergerät mit Billigboxen. Wer sich mit wenigen Rundfunksendern begnügt, ist mit der zuerst genannten Kombination glücklich. Und wer da fragt, wieviel man denn nun für seine Lautsprecher-

boxen auslegen müsse, dem sei gesagt, pro Paar mindestens das Gleiche, wie für den Plattenspieler, das Tape-Deck oder den Verstärker. Und da man bei aktiven Lautsprechern den Verstärker spart, muß man dann dessen Preis noch mit dazurechnen. Wer mehr für seine Lautsprecher ausgibt, ist besser bedient.

Die Lautsprecherboxen sind bis heute die einzigen Anlagenteile, die sich objektiven Messungen weitestgehend entziehen. Letzte kleine Feinheiten kann nur das kritische Ohr beurteilen. Deshalb setzen sich zu brauchbaren Lautsprechertests immer viele Leute aus den unterschiedlichsten Berufen zusammen, um so zu einem einigermaßen objektiven Urteil zu gelangen. Und weil das so ist, und weil Sie vielleicht noch etwas anderes hören als die Tester, müssen Sie sich Ihr eigenes Urteil leider selbst bilden. Dabei kommt es Ihnen dann zugute, wenn Sie viel Musik im Original hören. Denn darauf läuft die Hi-Fi-Wiedergabe ja letztlich hinaus, daß Sie in Ihrem eigenen Heim die Musik möglichst genau so empfinden, wie im Aufführungssaal.

Lassen Sie sich bei Lautsprechervergleichen nicht dadurch bluffen, daß manche Box lauter klingt als die anderen. Es könnten Ladenhüter sein oder aber solche mit einer hohen Gewinnspanne. Auch viele Bässe deuten nicht unbedingt Spitzenklasse an. Die sind im Konzert nämlich gar nicht so laut, wie jetzt bei der Wiedergabe. Bässe massieren nur so angenehm das Zwerchfell. Wenn Sie ganz unsicher werden, vergleichen Sie den Klang mit der teuersten Box im (hoffentlich gutsortierten) Laden, oder noch besser mit dem teuersten Kopfhörer. Das bringt Sie wieder auf den Boden (der Tatsachen) zurück. Lassen wir es, über das Innenleben der Boxen allzuviel zu sprechen. Ganz allgemein gilt, je mehr „Wege" eine Box enthält, desto besser dürfte sie klingen. Ausnahmen bestätigen die Regel, denn es gibt so manche vorzügliche Zweiwegebox. Sie haben es schon erraten: mit Wegen ist gemeint, in wie viele Teilbezirke der Gesamtfrequenzbereich aufgeteilt ist; als da üblich sind Tiefton-, Mittelton- und Hochtonbereiche. Ein einzelnes Lautsprechersystem allein schafft das nämlich gar nicht, obwohl auch hier wieder die Ausnahme die Regel bestätigt. Aber da sind dann in einer Box mehrere gleichartige Systeme. Im allgemeinen unterteilt man den Frequenzbereich in zwei bis vier (und mehr) Teilbereiche, weil man dann die einzelnen Laut-

sprechersysteme in jenen Bereichen arbeiten lassen kann, in denen sie ihr Bestes geben, ohne ihre Eigenresonanz zu zeigen (Ausnahme: Tieftöner) und ohne daß ihre Membranen unterteilt schwingen. Dies ist auch einer der wichtigsten Gründe dafür, daß die Membranen um so kleiner werden, je höher die Frequenzen sind, die sie abzustrahlen haben. Die Schallwellenlänge von 10 kHz ist in der Luft nämlich nur noch 34 mm kurz und in festen Materialien, zu denen auch Papier gehört, noch kürzer.

Damit die Membranen schön als Ganzes schwingen, formt man sie zu Konussen. Dann wirken sie aber für die hohen Töne als Trichter und strahlen sie sorgfältig gebündelt ab. Das ist den Boxenbauern gar nicht recht, und so bevorzugen sie für die höheren Frequenzen Kalottenmembranen, die den Schall über einen Raumwinkel von nahezu 180° abstrahlen. Womit dann nahezu alles wieder in schönster Ordnung wäre.

Aber da sind noch die sogenannten Frequenzweichen, die den Gesamtfrequenzbereich in die einzelnen Teilbereiche aufzutrennen haben. Diese Weichen sind nun einmal nur mit Spulen und Kondensatoren zu realisieren, und die bringen Verluste mit sich. Da helfen dann selbst nicht mehr die schönsten und teuersten Spezialzuleitungskabel mit 0,001 Ω Widerstand. Denn der steckt hauptsächlich in den Spulen. Trotzdem sollte man natürlich am Querschnitt der Zuleitungen nicht sparen, denn alle Verluste verringern die dämpfende Wirkung des bewußt niedrig gehaltenen Verstärker-Ausgangswiderstands auf die einzelnen Systeme, die so daran gehindert werden, zu viel Eigenleben zu entfalten. Das dürfen sie aber nicht, denn sie sollen reproduzieren, nicht produzieren. Gleiches gilt für die Boxengehäuse.

Natürlich lassen sich alle diese Verluste umgehen, wenn man den Frequenzbereich elektronisch aufteilt, mit sogenannten aktiven Weichen, und alles, also auch den Verstärker, gleich in die Boxen mit hineinbaut. Aber die werden dadurch dann eben teurer. Und solange das noch immer viele Verkäufer nicht einsehen, kann man von den Kunden auch nicht erwarten, daß sie ihr Geld lieber in guten aktiven Lautsprecherboxen anlegen, als in passiven aus einem Sonderangebot.

Womit wir unversehens bei den Verstärkern gelandet wären. Falls diese also schon in den Lautsprecherboxen enthalten sein

sollten, sind wir schön darum herumgekommen, uns mit ihnen zu beschäftigen. Wir müssen dann lediglich darauf achten, daß das Steuergerät auch einen Steuerverstärker enthält, also einen Vorverstärker mit den üblichen Klangeinstellmöglichkeiten, Filtern und so weiter. Wer gute aktive Boxen besitzt oder mit einem guten Stereokopfhörer hört, braucht diese Dinge nur im Ausnahmefall. Denn dann stimmt alles so gut, daß jedes Klangverdrehen nur Verböserungen bringt. Diese Steuerverstärker reichen also auch für Kopfhörerbetrieb aus; und wer nur damit hört, erspart sich so den zusätzlichen Verstärker.

Wer dagegen gute passive Boxen schon sein Eigen nennt – es gibt da natürlich ebenfalls Spitzenprodukte – oder sich welche zulegen will, braucht natürlich auch einen Verstärker. Einen der die Leistung aufbringt, die zum Beschallen der eigenen vier Wände erforderlich ist. Wieviel das zu sein hat, läßt sich nicht ausrechnen, weil unter anderem die Lautsprecherboxen sehr unterschiedliche Wirkungsgrade haben. Das heißt, am gleichen Verstärker klingt die eine leise und die andere laut. Im Gegensatz zu dem Aberglauben, daß man Wirkungsgrad gegen Qualität eintauschen könne, haben heute viele gute passive Boxen einen relativ hohen Wirkungsgrad, so daß man mit einer Verstärkerleistung von 2 x 50 W schon bestens bedient ist. Die meisten Hersteller richten sich inzwischen danach, und Kraftschränke mit 2 x 250 W sind nur noch selten anzutreffen oder aber „exotischen" Lautsprechern vorbehalten. Aber die kosten dann auch so viel wie ein „Käfer". Wenn Sie nun lesen, daß es gleich ist, welchen Verstärker Sie sich kaufen sollen, dann nehmen Sie das bitte nicht zu wörtlich. Solange Sie aber mit den Lautsprechern nicht in die höchsten Preisklassen gehen, sind ähnlich teure Verstärker den Lautsprechern immer überlegen. Und wenn Sie gute Boxen haben, können Sie auf weitreichende Klangverstellmöglichkeiten verzichten. Ja, es ist sogar ein Zeichen hoher Qualität, wenn diese in ihrem Wirkungsbereich auf beispielsweise ± 10 dB eingeschränkt sind. Sie müssen nur beachten, daß der Verstärker nicht mehr leistet, als es Ihre Boxen verkraften, denn selbst bei größter Vorsicht könnte es dann geschehen, daß diese einmal „überfahren" werden, und dann ist es um sie geschehen. Andererseits wäre es natürlich unökonomisch, viel zu wenig Verstärkerleistung vorzusehen, denn

dann wird der Verstärker unter Umständen einmal zu weit aufgedreht, was er mit kräftigen Verzerrungen quittiert. Glücklicherweise bewahren davor meistens die hellhörige Bauweise des modernen Baustils und erboste Nachbarn.

Wie dann Ihre Hi-Fi-Anlage aussieht, ob Kombinationsgerät oder „Turm", bleibt Ihrem persönlichen Geschmack überlassen. Wenn Sie sich erst einmal für eine entschieden haben, brauchen Sie sich ohnehin um die einzelnen Komponenten nicht mehr viele Gedanken zu machen. Dieses Denken hat Ihnen der Hersteller bereits abgenommen. Nur bei den Lautsprecherboxen haben Sie dann meistens freie Wahl. Nutzen Sie Ihr Wahlrecht!

Zum Plattenspieler und zum Tonbandgerät wäre natürlich, über das im Hauptabschnitt 6 erwähnte hinaus, noch unendlich viel zu sagen. Aber dafür gibt es glücklicherweise Spezialliteratur, und außerdem sind da die Dinge wieder einmal kräftig im Fluß. Das beginnt bei immer neuen Bandsorten und endet mit der Einstellbarkeit, besonders der Cassettengeräte, eben für jene. Wer da die Augen offenhält, findet auf dem Markt sogar Geräte, die in dieser Beziehung weitreichend umgeschaltet, ja sogar kontinuierlich eingestellt werden können, falls dies nicht ohnehin schon ein Mikroprozessor für Sie tut.

Ebensoviel tut sich bei den Rundfunkempfangsteilen. Weil aber hier ein Standard schon vorhanden ist, aus dem natürlich einige wenige, und entsprechend teure Spitzengeräte herausragen, beschränken sich die Unterschiede vor allem auf den Bedienungskomfort. Gegen den ist aber nichts zu sagen, denn er erhöht die Freude am Hören. Obwohl es manchmal grundsätzlich besser wäre, aufzustehen und einen Bedienungsknopf nachzustellen, als das neuerdings alles über eine Fernbedienung zu tun.

8.2 Aufstellen und Verschalten

Sie haben es richtig gelesen: Verschalten ist wörtlich gemeint. Denn an den Anschlüssen ist in den letzten 25 Jahren so manches geändert worden und europäisches und ausländisches hinzugekommen, daß eine ganze Zubehörindustrie allein von den Adapterkabeln leben kann, die man jetzt braucht, um die Anlagenteile unterschiedlicher Hersteller miteinander kombinieren zu können.

Bevor es aber so weit ist, müssen wir erst einmal mit uns selbst – und mit der Familie – einig werden, wo die einzelnen Bausteine später stehen sollen. Daß dabei Plattenspieler und Lautsprecherboxen nicht ins gleiche Fach der Schrankwand dürfen, sollte sich inzwischen langsam herumgesprochen haben. Druck – hier der Lautsprechermembranen – erzeugt Gegendruck, und den fängt kein noch so kräftiges Gehäuse auf, obwohl es ja von Klangs wegen nicht mitschwingen darf. Es tut's trotzdem. Und deshalb wakkelt natürlich das Fachbrett mit und wiegt den Plattenspieler, der daraufhin auch diese Töne wiedergibt. Im Kreislauf über den Verstärker schaukelt sich das Ganze jetzt zu einem mehr oder minder schönen, immer aber äußerst lauten Ton auf. Akustische Rückkopplung heißt diese Erscheinung, im Technikerkürzel AKR; und sie ist nicht sonderlich beliebt. Besonders häßlich wird diese Sache aber dann, wenn sie unterhalb des Selbstschwingens bleibt und nur einzelne Töne besonders gut verstärkt werden. Dann reicht es nicht ganz bis zum Rückkopplungseinsatz. Sollten Sie solches vernehmen, so packen Sie Ihren Plattenspieler probehalber auf Ihr sanftestes Kissen. Wenn die Einzeltonverstärkung dann weg ist, wissen Sie's. Dann hilft nur noch ein neuer Platz für Ihren Plattenliebling. Falls Sie aber erst planen, wohin Sie die einzelnen Geräte stellen sollen, so denken Sie bitte daran, daß Raum-

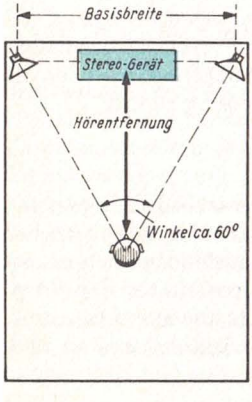


Abb. 60 Da haben wir sie, die Begriffe Basisbreite und Hörentfernung

ecken als Trichter wirken. In Ecken gestellte Lautsprecherboxen strahlen die Bässe besonders wirkungsvoll ab; am lautesten, wenn sie dazu noch am Fußboden stehen. Dann hören Sie die Musik vom ersten Rang aus. Weil aber übliche Wohnzimmer keinen solchen haben und auch die Musiker üblicherweise nicht so flach sind, sollten Sie die Boxen möglichst in Augenhöhe aufstellen. Und zwar der Sitzgruppe gegenüber; wiederum möglichst so, daß die Basisbreite etwa gleich der Hörentfernung ist. Was diese beiden Begriffe bedeuten, erkennen Sie am besten aus den *Abb. 60*

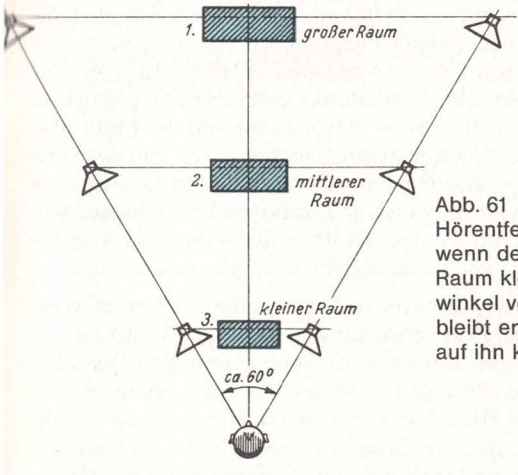


Abb. 61 Basisbreite und Hörentfernung schrumpfen, wenn der zu beschallende Raum klein ist. Der Hörwinkel von etwa 60° aber bleibt erhalten. Und nur auf ihn kommt es an

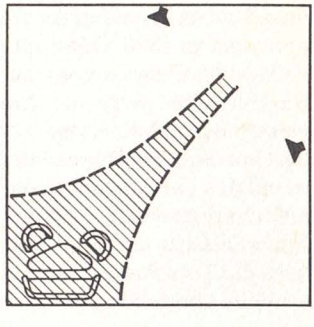


Abb. 62 Wenn Sie eine Sitzecke bevorzugen, dann müssen Sie die Lautsprecher so aufstellen

und 61. Und wenn die Sitzgruppe in einer Ecke steht, dann müssen Sie eben nach *Abb. 62* verfahren.

Alles andere bringt keinen ungetrübten Stereo-Genuß. Selbst wenn man Ihnen einzureden versucht, man könne das mit dem Balance-Einsteller ausgleichen. Was Sie dem einen Kanal dabei wegnehmen, geht unweigerlich an Leistung verloren, denn der jetzt mehr aufgedrehte andere Verstärker bringt nicht mehr aus sich heraus, als ihm seine Hersteller von Haus aus mitgegeben haben. Üblicherweise beginnt er dann bei größeren Lautstärken zu verzerren.

Versuchen Sie es auch, sich immer so zu setzen, daß Sie möglichst in der Mitte vor beiden Lautsprechern sitzen. Denn was Sie da so an Abbildungen von der sogenannten Hörfläche oder Hörzone gesehen haben, ist bestenfalls nur halbwahr. Die Übergänge sind in Wirklichkeit gleitend; und wer außerhalb der Mitte sitzt, hört alles verschoben; um so mehr, je weiter er von von der Mitte weg sitzt. Und zugleich verringert sich damit für ihn die wirksame Basisbreite. Weil man aber auch im Konzertsaal nicht immer Mittelplätze kriegt, ist das weniger schlimm, als es aussieht. Wer die besten Plätze bekommt, entscheidet das Familienoberhaupt.

Falls an den Lautsprecherboxen etwas einzustellen geht, genügt es, dies einmalig zur Anpassung an die Raumakustik zu tun. Mehr zu bedienen gibt es bei den übrigen Anlageteilen. Die gehören deshalb in die Nähe des Bedienenden, auch wenn er eine Fernbedienung zur Hand hat. Es bleiben noch immer die Schallplatten aufzulegen und die Cassetten einzuschieben. Wenn nun dieses Problem ebenfalls gelöst ist, fehlt immer noch die Verkabelung. Und da kann es passieren, daß alles wieder von vorn begonnen werden muß. Denn die NF-Kabel zwischen den einzelnen Anlageteilen verlängern zu müssen, bedeutet Höhenverluste. Die Hersteller wissen es schon, weshalb sie mit den Kabellängen geizen. Besonders einige Tonabnehmersysteme sind da sorgfältigst mit den Kabelkapazitäten abgestimmt. Weniger gefährlich ist es mit den Lautsprecherkabeln. Abgesehen davon, daß auch hier jede Verlängerung Leistungs- und Qualitätsverluste mit sich bringt, wächst mit jeder Manipulation an den Kabeln und Stekkern die Totschlaggefahr für die Endstufen im Verstärker. Kurzschlüsse überleben nur die aufwendig gesicherten. Wenn Sie nun

Ihre Anlage beisammen haben, alles verkabelt ist und auch die Antenne angeschlossen, dann kommt der große Moment. Sie schalten ein ... und es brummt. Schuld daran ist, daß die Anlage jetzt zweimal geerdet ist: einmal über den Schutzleiter – der muß sein, weil vornehme Gehäuse metallisch sind – und einmal über den Antennenanschluß. Auch die Antennenanlage muß ja schon des Blitzschutzes wegen geerdet sein. Und so ergibt sich eine schöne Brummschleife über etliche Verbindungskabel. Wem solches also passiert, braucht einen Antennentransformator, der den Antennenanschluß galvanisch vom Netz abtrennt. Kleinere Brummstörungen, die nicht von defekten Übertragungsleitungen herrühren, lassen sich dagegen oft beseitigen, wenn man den Netzstecker jenes Anlagenteils einfach umpolt, aus dem das Brummen kommt.

9 Selbst bauen!

Hand auf's Herz! Wer von uns Hobby-Elektronikern kann und möchte alle Teile einer Hi-Fi-Anlage fertig kaufen, wenn er doch zumindest den Verstärker selbst bauen kann. Ob dieser dann billiger kommt, als ein industriell gefertigter, ist zweitrangig – das Erfolgserlebnis entscheidet.

Was beim Verstärker dank moderner Bauteile, wie Operationsverstärker und Endstufendarlingtons und dem Wissen um so diffizile Zusammenhänge wie Verzerrungen ohne und mit Gegenkopplungen, noch mit einiger Erfahrung selbst zu realisieren ist, macht bei Empfängerteilen schon mehr Schwierigkeiten. Da wird bereits einiges an Meßgeräten gebraucht. Völlig abzuraten aber ist vom Selbstbau von Lautsprecherboxen, außer mit den fertigen Bausätzen seriöser (und bekannter) Hersteller. Die haben nämlich einen Namen zu verlieren. Wer sich aber dazu verleiten läßt, Lautsprecherchassis aus Sonderangeboten zu kombinieren und in selbstentworfene Gehäuse einzubauen, zahlt doppelt. Sobald sich nämlich die erste Euphorie gelegt hat und einmal versuchsweise gute Boxen an die Anlage geklemmt wurden. Dann brechen komplette Weltbilder zusammen. Dazu sollte man zumindest wissen, daß auch die Industrie Lautsprecherboxen nicht errechnen, sondern nur erproben und immer wieder verbessern kann. Und die hat dazu den ausreichenden (finanziellen) Atem.

Und daß sich an hochwertige Plattenabspielgeräte und Tonbandgeräte im Selbstbau nur heranwagen darf, wer neben dem dazu speziell notwendigen Können auch noch über eine komplette feinmechanische Werkstatt verfügt, versteht sich nach dem bisher Gesagten wohl von selbst.

Bleiben wir also beim Verstärkerbau. Die ELO hat uns dafür eine Vorlage geliefert, die wegen ihrer Qualität hier noch einmal vorgestellt werden soll. Sie hat den Vorteil, nach Belieben ausgebaut und kombiniert werden zu können. Viel wichtiger aber noch ist, daß Platinen, Bauteile und Gehäuse im Handel erhältlich sind.

9.1 Ein Vorverstärker, der sich zum Mischpult erweitern läßt

Eine der größten „Erfindungen" war es, elektronische Geräte, gleich welcher Art, in Baugruppen aufzuteilen. Das erleichtert nicht nur ihren Aufbau, sondern auch die Reparaturen. So richtig populär wurde dies allerdings erst, als die Werbeleute eines bekannten Herstellers dafür das Schlagwort „Modulisierung" aufgegriffen und damit dem Unternehmen zu einem ungeahnten Marktaufschwung verhalfen. Obwohl es auch schon früher derartiges gegeben hatte. Es fehlte nur der zündende Gedanke, daraus harte DM zu machen.

Aber auch für uns ist die Modulisierung äußerst praktisch. Wir können so unseren Vorverstärker klein beginnen und je nach Wollen und Können (auch finanzieller Art) wachsen lassen. Dann wird daraus allmählich ein Mischpult mit allerhand Schikanen. Vorab aber sei bereits verraten, daß auch der später beschriebene Endverstärker Platz für einen vollständigen Vorverstärker läßt, wenn auf die Mischmöglichkeit und auf die Pegelanzeige verzichtet werden.

Um aber die Anzahl der Moduln im Mischpult nicht zu groß werden zu lassen, beschränken wir uns weise auf drei, von denen der erste allerdings mehrfach vorkommen kann. Seine Anzahl bestimmt die der Eingänge.

1. Stereo-Eingangsmodul, mit Empfindlichkeitsumschaltung und Klangeinstellteil.

2. Mischverstärkermodul, mit Monitorverstärker und LED-Aussteuerungsanzeige.

3. Netzteilmodul zur Stromversorgung aller Baugruppen.

Abb. 63 zeigt den Stereo-Eingangsmodul. Schon der erste flüchtige Blick läßt es erkennen: Da sind moderne, rauscharme IS im Spiel. Und auch Flachbahnsteller (links), über die die Ausgangspegel des rechten und des linken Stereokanals getrennt eingestellt werden können. Das erspart uns den Balance-Einsteller. Die Achsen von den beiden Drehknöpfen führen zu Doppelpotentiometern unter der Platine, mit denen die Bässe und die Höhen getrennt, aber für beide Stereokanäle gemeinsam eingestellt werden können. Und die Anschlußstifte führen nicht nur zu den Ein-

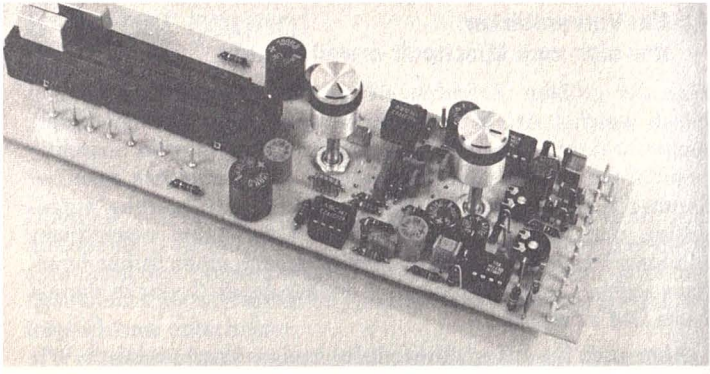


Abb. 63 Das ist der Stereo-Eingangsmodul

und Ausgängen und zur Stromversorgung, sondern auch zum Eingangsempfindlichkeitswahl- und Eingangsmodusumschalter. Das klingt gekonnt und ist auch so. Damit wird nämlich geschaltet, ob der Eingangsverstärker als Mikrofonvorverstärker für nieder- und hochpegelige Mikrofone arbeiten soll oder als Tonabnehmer-Entzerrer-Verstärker oder aber als Mädchen für alles, was da sonst noch an den einen Eingang angeschlossen werden kann, schlicht also als Reserveeingang. Entsprechend unterschiedlich sind auch die Eingangsempfindlichkeiten (in der gleichen Reihenfolge): 0,7 mV ... 1,2 mV/1,6 mV ... 15 mV/3 mV bei 1 kHz und 8 mV ... 200 mV im Universalfall. Die kleinen in Abb. 63 ebenfalls zu erkennenden Trimmpotentiometer sorgen nun dafür, daß man die Eingangsempfindlichkeiten innerhalb der genannten Bereiche frei wählen kann.

Doch sehen wir uns dazu das dazugehörende Schaltbild an *(Abb. 64)*. Da erkennen wir nun, daß als Verstärker ein nichtinvertierender Operationsverstärker eingesetzt ist, der symmetrisch mit Strom versorgt wird, und in dessen Gegenkopplungskanal unterschiedliche verstärkungs- und frequenzgangbestimmende Glieder liegen. Die sorgen nun für die unterschiedlichen Eingangsempfindlichkeiten und in der Schaltstellung TA für die normgerechte Wiedergabeentzerrung bei Schallplattenwieder-

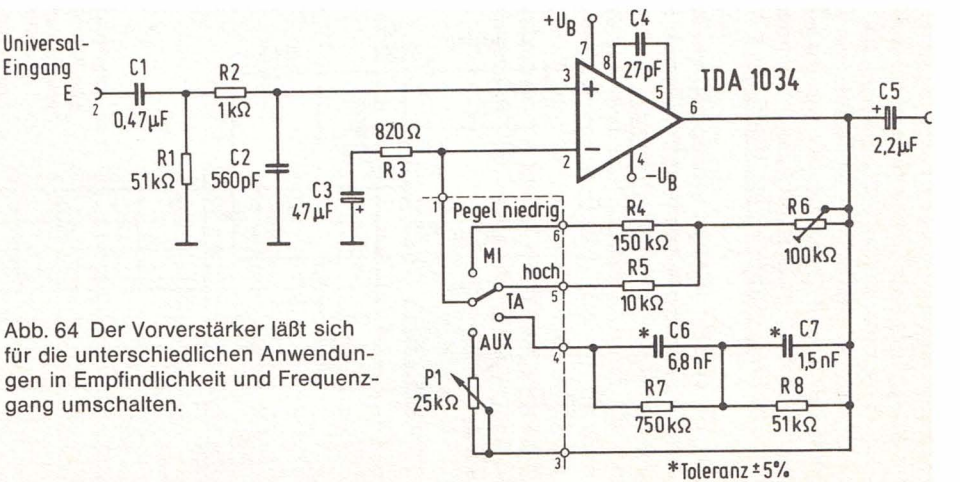


Abb. 64 Der Vorverstärker läßt sich für die unterschiedlichen Anwendungen in Empfindlichkeit und Frequenzgang umschalten.

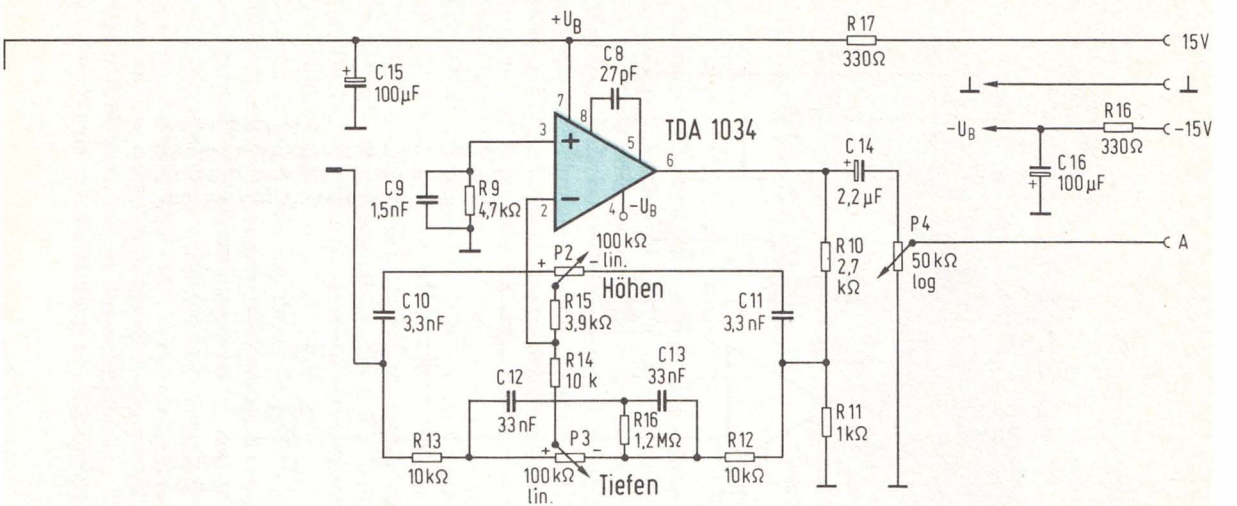


Abb. 65 So ist die Klangeinstellstufe geschaltet

gabe über magnetische Tonabnehmer. R6 bestimmt die endgültige Verstärkung in beiden Stellungen „Mikrofon" und P1 in der Stellung „Auxilary" (Reserve). Bleibt nur noch zu erwähnen, daß R1 im Eingang für einen gleichbleibenden Eingangswiderstand der an sich recht hochohmigen Eingangsschaltung sorgt und R2, C2 eventuell eindringende Hochfrequenz von CB-Geräten und ähnlichen nach Masse ableitet, so daß sie nicht mehr stört.

Am Ausgang des Vorverstärkers beträgt der Normpegel 200 mV. Der wird nun im anschließenden aktiven Klangeinsteller auf 0 dBm = 775 mV erhöht, mit denen man beruhigt auf jede Leitung gehen kann.

Den aktiven Klangeinsteller finden wir in *Abb. 65*. Wer sich schon ein wenig mit Operationsverstärkern beschäftigt hat, dem fällt auf, daß der OpAmp hier in der nichtintervertierenden Schaltung betrieben wird. Das hat seinen Grund. Die Grundverstärkung dieser Schaltung ist nämlich immer größer als Eins. Und obwohl wir in dieser Stufe nur eine Grundverstärkung von knapp Vier brauchen, um die 200 mV auf 775 mV zu bringen, benötigen wir eine Reserve für die Bässe und Höhen, die nach *Abb. 66* ja um

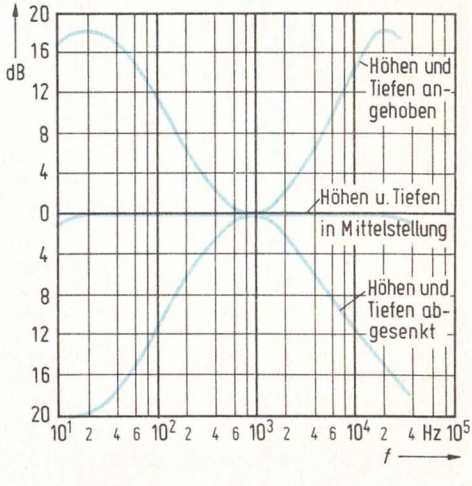


Abb. 66 Das sind die Frequenzgänge des Klangeinstellers in der Mitteneinstellung und in den Extremstellungen

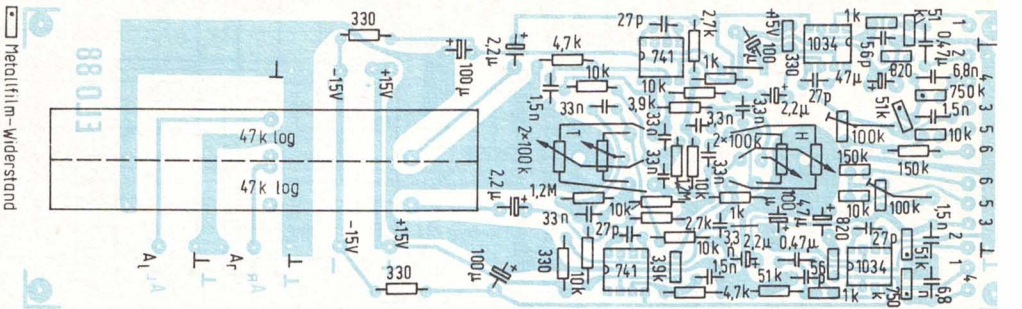


Abb. 68 So wird bestückt. Das Platinen-Layout, Abb. 67, finden Sie als Klapptafel auf Seite 136

Stückliste für Stereo-Eingangsmodul zu Abb. 68

Widerstände, ±5 %

4 330 Ω	2 3,9 kΩ	2 150 kΩ
2 820 Ω	2 4,7 kΩ	2 750 kΩ
4 1 kΩ	8 10 kΩ	2 1,2 MΩ
2 2,7 kΩ	4 51 kΩ	

Die auf der Platine gekennzeichneten Metallfilmwiderstände sind nicht erforderlich. Es genügen auch Kohleschichtwiderstände.

Kondensatoren:

2 1,5 nF, Schichtkondensator ±5 %, RM 7,5 mm
2 6,8 nF, Schichtkondensator ±5 %, RM 7,5 mm
4 27 pF, keramisch
2 560 pF, keramisch
2 1,5 nF, Miniaturkondensator, RM 5 mm
4 3,3 nF, Miniaturkondensator, RM 5 mm
4 33 nF, Miniaturkondensator, RM 5 mm
2 0,47 µF, Kunststoffkondensator, RM 7,5 mm

Elkos, min. 16 V, stehende Montage, RM 5 mm, max. Bauhöhe 16 mm

4 2,2 µF	2 47 µF	4 100 µF

Potentiometer, Schiebewiderstände:

2 Trimmpotentiometer, 100 kΩ lin., liegend, RM 5/10 mm
2 Schiebewiderstände, 47 kΩ log., für Printmontage
1 Tandempotentiometer, 2x 25 kΩ lin., Achse 4 mm, mit Lötfahnen
2 Tandempotentiometer, 2x 100 kΩ lin., Achse 4 mm, mit Lötstiften für Printmontage

Integrierte Schaltungen:

2 TDA 1034 NB (Herst. Valvo), rauscharmer OP, oder SG 4250 CM
2 741 im 8pol. DIL-Gehäuse, oder SG 4250 CM

Diverse Bauteile:

2 Knöpfe für Mono-Schieberegler
4 Drehknöpfe für Potis und Drehschalter
1 Stufenschalter 2x 4 Stufen, Lötfahnen, Achse 6 mm
2 Fächerscheiben, 7 mm
4 8pol. Fassungen für DIL-Gehäuse (bei Bedarf)
1 Platine 88
1 Stereo-Normbuchse

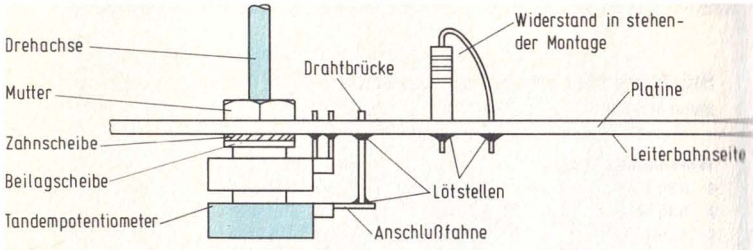


Abb. 69 Diese Einzelheiten erleichtern das Bestücken

18 dB (gleich achtfach) angehoben und abgesenkt können werden müssen. Dies erreichen wir mit der einstellbaren frequenzabhängigen Gegenkopplung. P2 und P3 sind die dazugehörenden Einsteller. Und P4 schließlich ist der Ausgangspegeleinsteller, über den bestimmt wird, wieviel man anschließend in den Mischverstärkermodul einspeist.

Bisher haben wir immer nur einen Kanal betrachtet. Auf der Platine ELO 88 *(Abb. 67* (siehe Klapptafel nach Seite 136) und *68)* ist natürlich alles doppelt vorhanden, so daß wir einen schönen symmetrischen Stereovorverstärker bekommen. *Abb. 69* zeigt uns schließlich, wie diese Platine richtig bestückt wird. Und damit haben wir schon den ersten Modul fertig.

Ebenfalls zweikanalig ist auch der zweite Modul *(Abb. 70)*, der den Summierverstärker, den Monitorverstärker und die LED-Aussteuerungsanzeige enthält. Sie arbeitet mit logarithmischer Anzeige in 3-dB-Stufen und vermag die Spitzenwerte zu speichern.

Sehen wir uns wiederum zunächst die fertig bestückte Platine in Abb. 70 an. Da fallen zunächst die beiden Flachbahneinsteller unten links auf, über die das Summensignal eingepegelt wird. Die beiden Knöpfe darüber gehören zum Monitorverstärker, der einen Kontrollkopfhörer zum Überwachen der einzelnen NF-Quellen und des Summensignals speist. Links der zweikanalige Lautstärkeeinsteller und rechts der Abfrageumschalter. Die beiden Kippschalter daneben schalten (oben) zwischen dem Schlei-

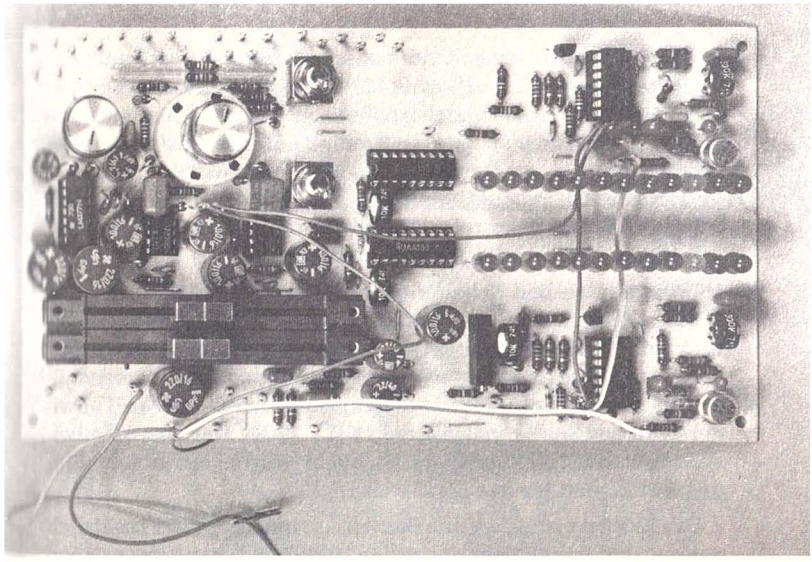


Abb. 70 Und dies ist nun der Mischverstärkermodul

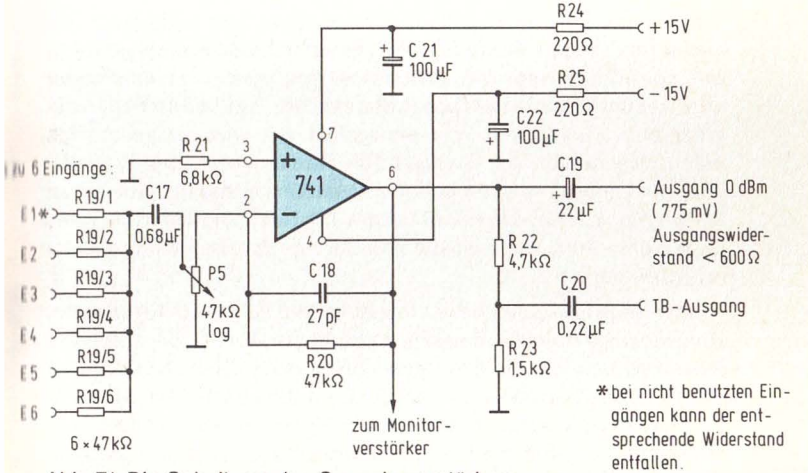


Abb. 71 Die Schaltung des Summierverstärkers

fer des Einzelsignalumschalters und dem Ausgang des Summierverstärkers um (Monitor) sowie (darunter) die Aussteuerungsanzeige ebenfalls vom Einzelsignalumschalter zum Summenausgang. Gut zu erkennen sind die 2 mal 12 LED der Aussteuerungsanzeige, jeweils neun grüne, eine orange (0 dB) und zwei rote, entsprechend den Aussteuerungsstufen –27 dB bis +6 dB. Der Umschalter Normalanzeige/Spitzenwertanzeige (speichern) ist außerhalb der Platine auf der Frontplatte.

Doch nun zu den Schaltungen. Der Summierverstärker *(Abb. 71)* tut, was sein Name sagt. Diese Summier- (oder Addier-)schaltung gehört zu den Grundschaltungen des Operationsverstärkers. Lassen Sie sich nicht von der Einschaltung des Summenstellers P5 bluffen; er bildet nur den (einstellbaren) unteren Teilwiderstand des Spannungsteilers R19 (1 ... 6)/P5. Der obere Teilwiderstand des Potentiometers P5 bleibt wegen des hohen Eingangswiderstandes des „741" wirkungslos.

Der Rest ist einfach: Beide Betriebsspannungen sind zusätzlich gesiebt, und neben dem „normalen" 0-dBm-Ausgang gibt es noch einen weiteren, an den der Aufsprechverstärker eines Tonbandgeräts angeschlossen werden kann. Es wurde eben an alles gedacht.

Somit kommen wir zum Monitorverstärker. Der erklärt sich fast von selbst. In *Abb. 72* sind ausnahmsweise beide Kanäle gezeichnet, vor allem wegen der Anschlüsse der Normbuchsen. Diesen wird auf die Lötseite gesehen. Mit dem Umschalter S2 werden die einzelnen Eingangsmodule angewählt. S3 wird umgeschaltet, wenn statt dessen das Gemisch (die Summe) aus allen Einzelsignalen abgehört werden soll. Der Monitorverstärker gibt bis zu 2 x 2 W an 8 Ω ab; das reicht bereits für Lautsprecherwidergabe. Laut Herstellerangabe ist die benutzte IS überbelast- und kurzschlußsicher.

Ein wenig Gedankenarbeit macht es, sich in die LED-Aussteuerungsanzeige hineinzudenken. Anhand der *Abb. 73* bis *75* ist dies jedoch zu schaffen. Da Anzeigenschritte von 3 dB gefordert waren – Abb. 75 zeigt uns dies sehr deutlich – mußte nach Abb. 74 ein logarithmischer Verstärker eingebaut werden. Er wurde dann auch zum Schlüsselproblem in der Entwicklung. Steigen wir mutig in die Schaltung ein.

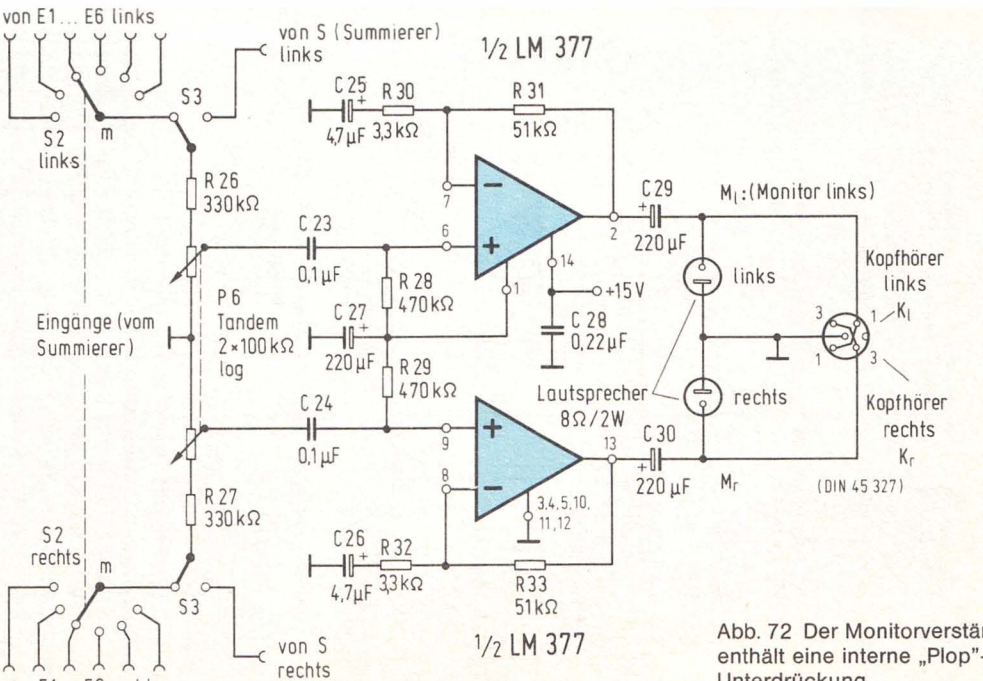


Abb. 72 Der Monitorverstärker enthält eine interne „Plop"-Unterdrückung

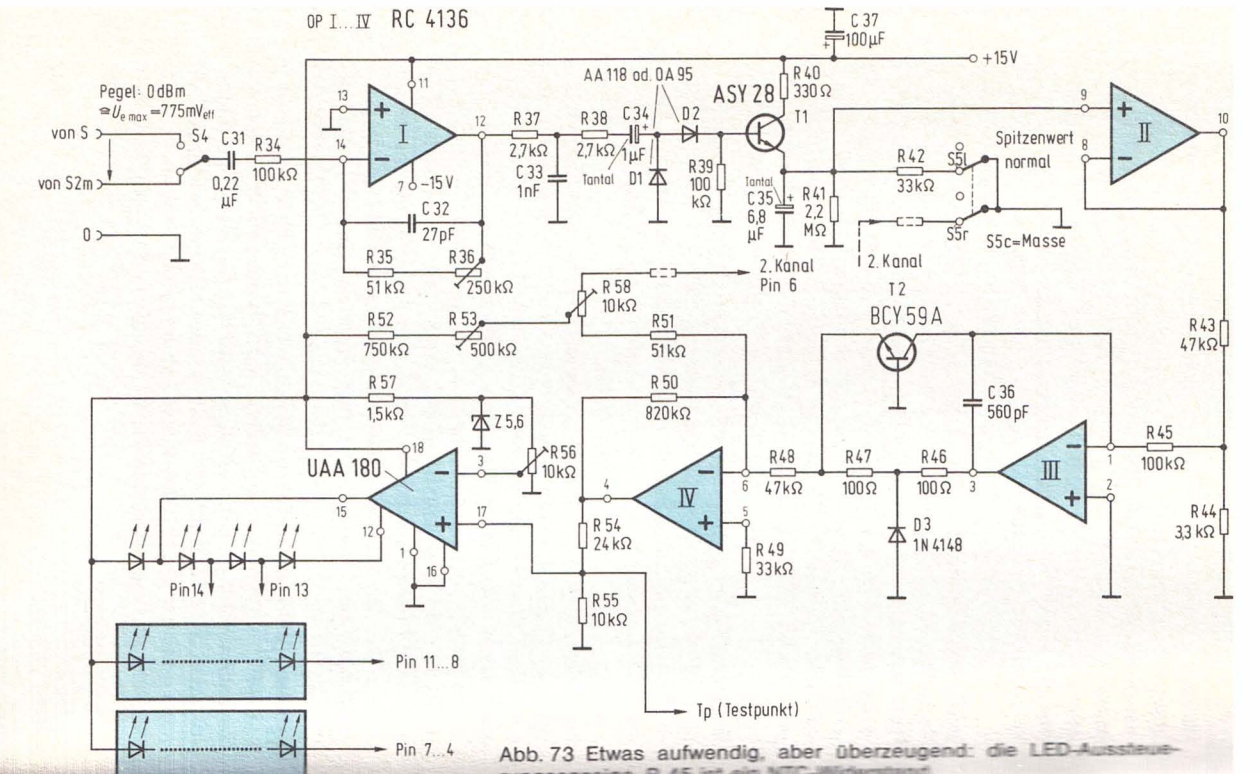


Abb. 73 Etwas aufwendig, aber überzeugend: die LED-Aussteuerungsanzeige. R 45 ist ein NTC-Widerstand

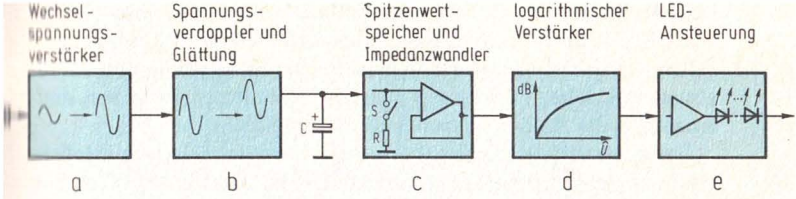


Abb. 74 Solch ein Blockschaltbild erleichtert es uns, geistig durch die Schaltung zu wandern.

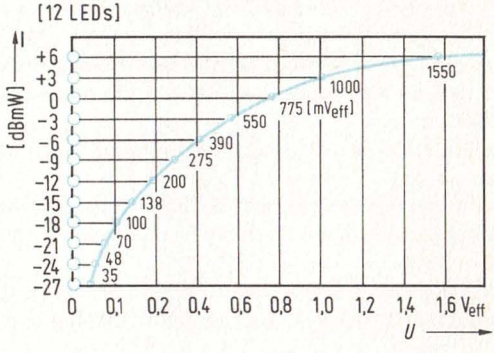


Abb. 75 So hängt die Steuerspannung der UAA 180 mit den NF-Pegeln zusammen

Da hebt also zunächst OP I die Signalspannung an, die dann einen 20-kHz-Tiefpaß durchläuft und im Spannungsverdoppler mit D1 und D2 gleichgerichtet wird. Dabei öffnet T1 und lädt den Tantalelko C35 auf, der die Meßgleichspannung speichert. Je nach Schalterstellung von S5 wird er langsam (10 Sekunden Spitzenwertspeicherung) oder schnell (1 Sekunde) entladen. Ihm folgt ein Impedanzwandler mit dem OP II. Wie der nach dem Spannungsteiler R43/R44 angeschlossene Logarithmierer mit dem OP III arbeitet, ist hier schlecht zu beschreiben. Wer sich dafür interes-

siert, findet im RPB-Band 65 auf Seite 118 die vollständige Erklärung. Erwähnt werden muß nur noch, daß diese Schaltung temperaturempfindlich ist, deshalb wurde der NTC-Widerstand R45 eingeführt. Über R58 lassen sich die Toleranzen zwischen den Anzeigen der beiden Stereokanäle ausgleichen.

Der sich anschließende OP IV verstärkt das Gleichstrom-Meßsignal auf den von der Wandler-IS UAA 180 benötigten Wert. Sie bewirkt, daß das Leuchtband mit steigendem Signalpegel wächst, so daß sich eine Thermometerskala ergibt.

So ein kompliziertes Gebilde muß natürlich genau eingestellt werden. Deshalb folgt hier die Einstellanweisung:

1. alle Trimmer in Mittenstellung drehen, Schalter S5 schließen;
2. Testpunkt Tp auf Massepotential legen (kurzschließen);
3. beide R56 so einstellen, daß die jeweils erste LED gerade noch nicht leuchtet;
4. Kurzschluß an Tp entfernen; LED können dann unkontrolliert aufleuchten;
5. Spindeltrimmer R53 und R58 so lange abwechselnd verstellen, bis in beiden Anzeigen die erste LED gerade zu glimmen beginnt;
6. 775 mV auf den Eingang legen und beide R36 so einstellen, daß die beiden LED für 0 dB (orange) gleichmäßig leuchten.

Wie nun die dazugehörende Platine ELO 89 geätzt und einschließlich der unvermeidlichen Brücken bestückt wird, zeigen die *Abb. 76* (siehe Klapptafel nach Seite 136) und *77*.

Wenden wir uns nun dem Netzteil zu. *Abb. 78* (S. 109) zeigt es in seiner ganzen Kleinheit, *Abb. 79* seine Schaltung und die *Abb. 80* und *81* sein Platinen-Layout sowie die Bestückung. Zwei Spannungsregler stabilisieren die positive und die negative Versorgungsspannung für die Operationsverstärker und die Leistungs-IS zuverlässig. Dabei ist die Siebung so ausgelegt, daß sich ein Brummspannungsabstand des Ausgangssignals von > 75 dB ergibt.

Damit haben wir sämtliche Module. Jetzt gilt es, sie einzubauen. Dafür gibt es nun ein schönes handelsübliches Gehäuse als Bausatz, das schon gebohrt und beschriftet ist. *Abb. 82* (S. 113) zeigt

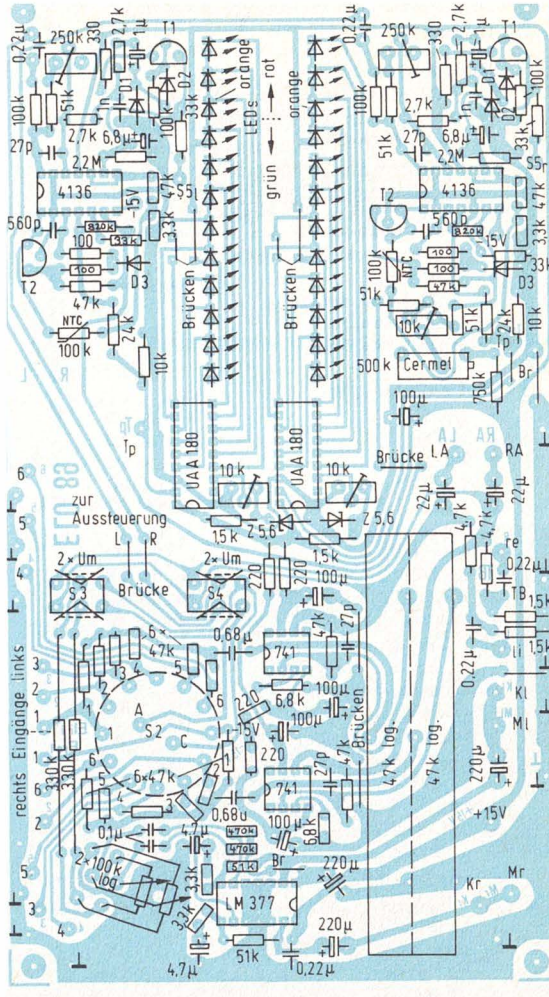


Abb. 77 Danach wird bestückt

Stückliste für Mischverstärkermodul (Abb. 77)

Halbleiter und IS:

2 TDA 1034 oder SG 4250 CM oder 741
1 LM 377, 2fach-NF-Verstärker
2 4136, 4fach-OP
2 UAA 180
2 ASY 28, T 1, NPN-Ge-Transistor
2 BCY 59 A, T 2, NPN-Si-Transistor
4 AA118, OA 95 o. ä., D 1, D 2, Ge-Diode
2 1 N 4148 o. ä., D 3, Si-Diode
2 ZPD 5,6
2 LED, 5 mm, orange
4 LED, 5 mm, rot
18 LED, 5 mm, grün

Widerstände: $^1/_4$ W

4	100 Ω	4	33 kΩ
4	220 Ω	18	47 kΩ
2	330 Ω	6	51 kΩ
4	1,5 kΩ	4	100 kΩ
4	2,7 kΩ	2	330 kΩ
4	3,3 kΩ	2	470 kΩ
2	4,7 kΩ	1	750 kΩ
2	6,8 kΩ	2	820 kΩ
2	10 kΩ	2	2,2 MΩ
2	24 kΩ		

2 NTC-Widerstand 100 kΩ

Kondensatoren:

4 27 pF, keramisch
2 560 pF, keramisch
2 1 nF, Folienkondensator, RM 5 mm
2 0,1 µF, Folienkondensator, RM 5 mm
5 0,22 µF, Folienkondensator, RM 5 mm
2 0,68 µF, Folienkondensator, RM 7,5 mm

Elkos, min. 16 V, stehende Montage, RM 5 mm, max. Bauhöhe 16 mm:

2	4,7 µF	5	100 µF
2	22 µF	3	220 µF

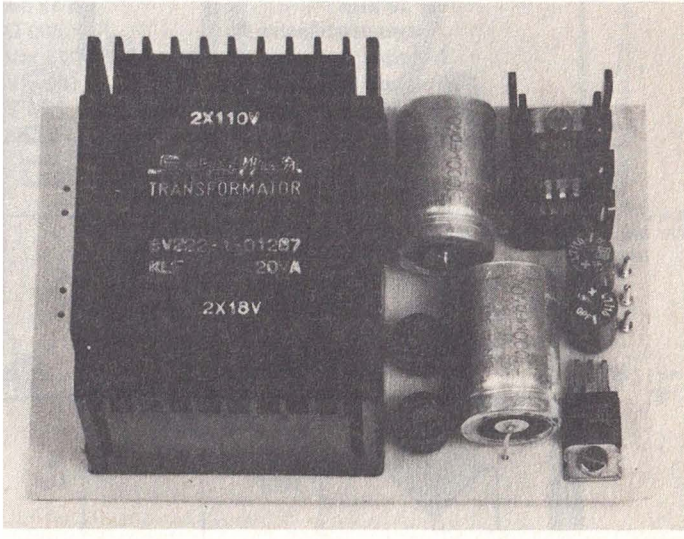
Tantalelkos, min. 16 V:

2	1 µF	2	6,8 µF

Trimmpotentiometer, stehende Montage, RM 5/2,5 mm
3 10 kΩ 2 250 kΩ
1 Spindeltrimmer, 500 kΩ, RM 12,5/2,5 mm
2 Flachbahneinsteller, 47 kΩ log., für Printmontage, RM 57,5/7,5 mm
1 Tandempotentiometer, 2x 100 kΩ log., Printmontage, Achse 4 mm
3 Kippschalter, 2x Um, Printmontage, S 3, S 4, S 5
1 Drehschalter, 2x 6 Stufen, Printmontage, S 2
2 Stereo-Normbuchsen, 5pol., für TB-Ausgang und 0-dB–Ausgang

DIL-Fassungen:
2 8pol. 3 14pol. 2 18pol.

Abb. 78 Die fertig bestückte Netzteilplatine



Mindestfremdspannungsabstand bei verschiedenen IS-Typen im Eingangsmodul

Eingangsverst.	Klangeinsteller	MI 1	MI 2	TA	AUX	
TBA 1034 N	TBA 1034 N	60	70	65	75	dB
TBA 1034 N	µA 741	55	65	62	73	dB
SG 4250*	SG 4250*	55	68	63	74	dB
Übersprechdämpfung zwischen den Stereokanälen		40	50	50	50	dB
Klirrfaktor bei 1 kHz und Vollaussteuerung		0,2	0,1	0,1	0,1	%

* Bei Verwendung der IS SG 4250 muß zwischen Pin 4 und Pin 8 ein Widerstand von 1 MΩ gelötet werden.

Tabelle der technischen Daten

Gleichstromaufnahme bei Vollaussteuerung	
ohne Monitor	190 mA
mit Monitor	500 mA
max. Ausgangsleistung des Monitors bei U_B = 15 V	1 W
Klangeinstellung	
bei 50 Hz	± 16 dB
bei 10 kHz	± 12 dB
Ausgangswiderstand	< 600 Ω
Nennausgangsspannung	775 mV
Tonbandausgang	180 mV
max. Ausgangsspannung (K ≦ 1 %)	7,75 V
Frequenzgang (+0/−3 dB)	20 Hz – 35 kHz

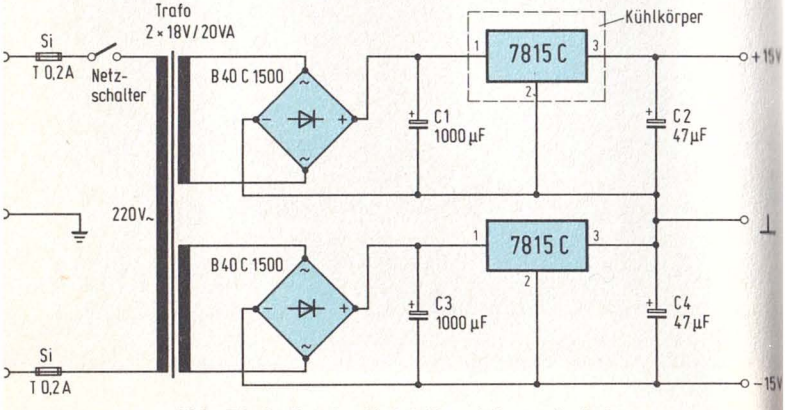


Abb. 79 So ist der Netzteilmodul geschaltet

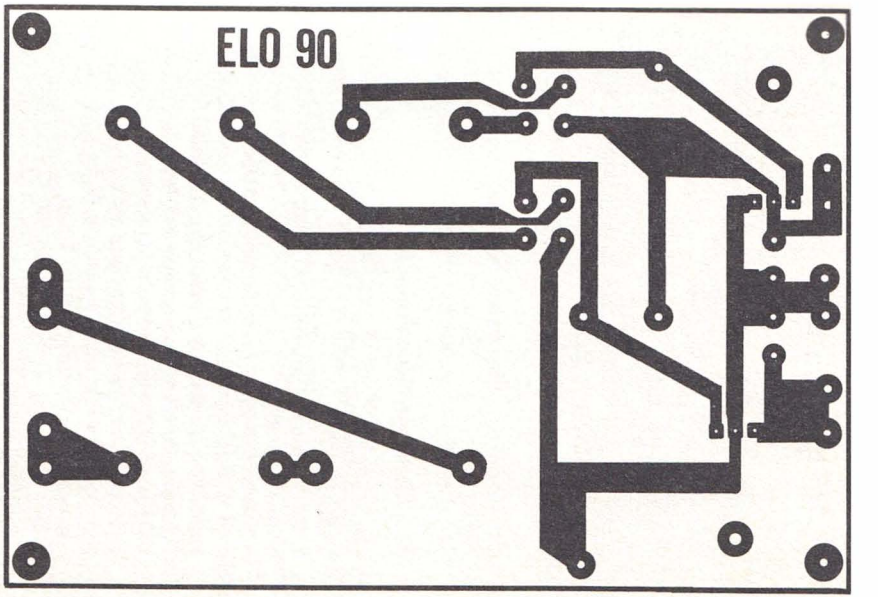


Abb. 80 Platinen-Layout des Netzteilmoduls

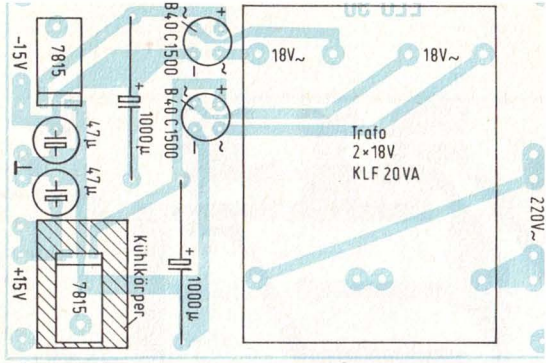


Abb. 81 Und so einfach läßt er sich bestücken

Stückliste für Netzteilmodul

1 Transformator 2 x 18 V, Typ KLF 20 VA
1 Platine
2 Brückengleichrichter B 40 C 1500, runde Ausführung
2 Spannungsregler 7815 C oder LM 340-15, 15 V, Plastikgehäuse TO 220
1 Kühlkörper, passend zu Gehäuse TO 220
2 Elkos 1000 µF/35 V, liegende Montage
2 Elkos 47 µF/25 V, stehende Montage
1 Netzschalter mit Flachsteckern 4,8 mm
1 Apparatestecker mit eingebauten Sicherungen und Flachsteckern 4,8 mm
1 LED 5 mm mit Vorwiderstand 680 Ω zur Einschaltkontrolle
Isolierschlauch
Schaltdraht
Flachsteckhülsen 4,8 mm
Lötösen

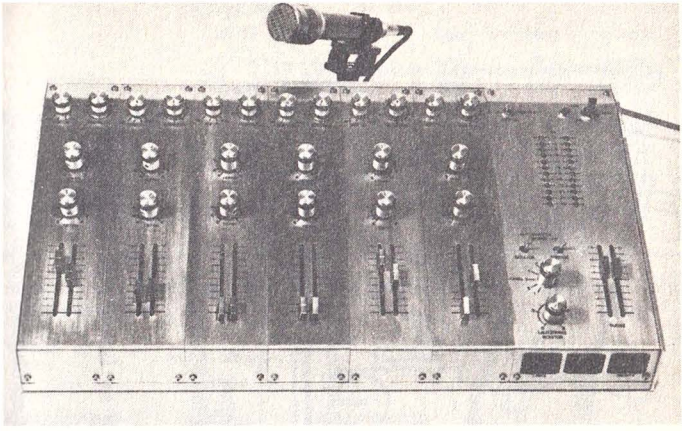
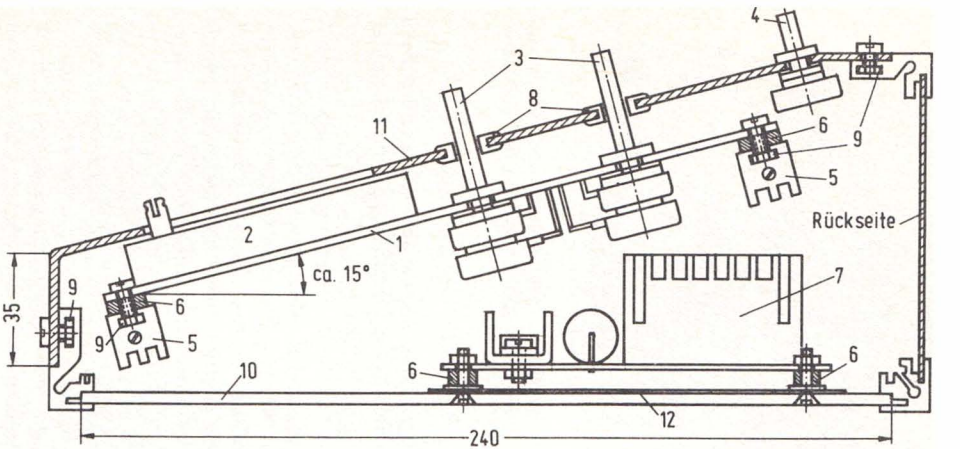


Abb. 82 Schon das erste „handgestrickte" Muster des Mischpults konnte sich sehen lassen. Inzwischen gibt es dafür fertige Gehäusebauteile

uns das fertige Mischpult und *Abb. 83*, wie die Platinen eingebaut werden. Bleibt also noch die interne Verdrahtung. Und die richtet sich nach den Schaltern und Buchsen.

Wie die Buchsen an der Kunststoff-Rückwand angeordnet sind, erläutert uns *Abb. 84*. Und aus *Abb. 85* geht eindeutig hervor, wie die Anschlüsse zwischen der Platine und den Buchsen geführt werden. Die Masseanschlüsse an den Klinkenbuchsen und der Diodenbuchse dürfen jedoch nirgends mit dem Gehäuse verbunden sein, sonst brummt es! Dies gilt grundsätzlich für alle abgeschirmten Leitungen. Werden sie von Platine zu Platine gezogen, und die Platinen haben bereits einen Masseanschluß, dann darf die Abschirmung des Kabels nur einseitig an Masse gelegt werden, wie in *Abb. 86*. Mehrere Masseverbindungen würden Brummschleifen bilden, an denen schon einmal einige Millivolt Brummspannung abfallen können. Und wehe, wenn sie an einen Mikrofoneingang gelangen.

Die Eingangsplatinen werden am besten über Flachkabel mit den Schaltern und den AUX-Pegeleinstellern (P1 in Abb. 46) ver-



1 Eingangsplatine 88
2 Flachbahneinsteller
3 Klangeinsteller
4 AUX - Pegeleinsteller
5 Montageprofile für Platinen 88 und 89
6 Isolier - Abstandsbolzen, 5mm hoch
7 Netzteil
8 Durchführungstüllen
9 Gleitmuttern M3 für Befestigungsschrauben
10 Bodenplatte
11 Pultabdeckung
12 Hartpapierplatte zur Isolation zwischen Netzteil und Bodenplatte

Abb. 83 Hier wurde das Profil-Pultgehäuse durchgeschnitten, um zu zeigen, wie die Moduln montiert werden sollen

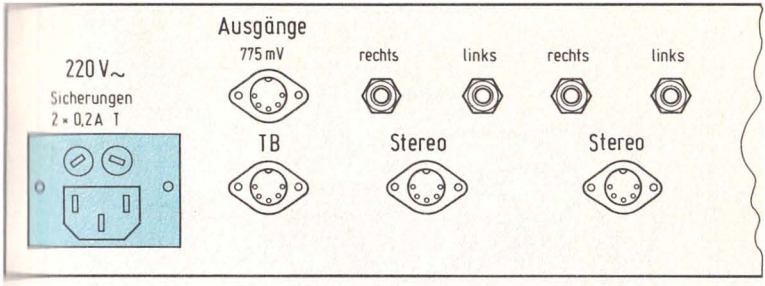


Abb. 84 Um Brummschleifen sicher zu vermeiden, ist die Rückwand aus Kunststoff

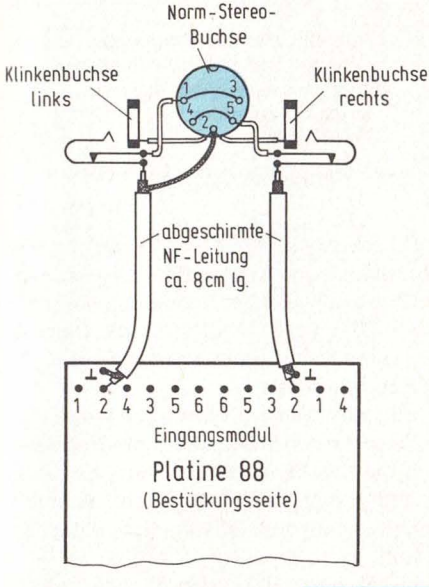


Abb. 85 So werden die Buchsen angeschlossen

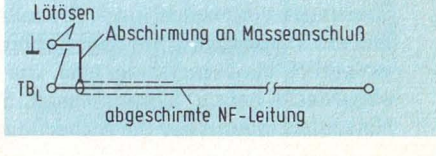


Abb. 86 Abschirmleitungen dürfen nur einseitig an Masse gelegt werden

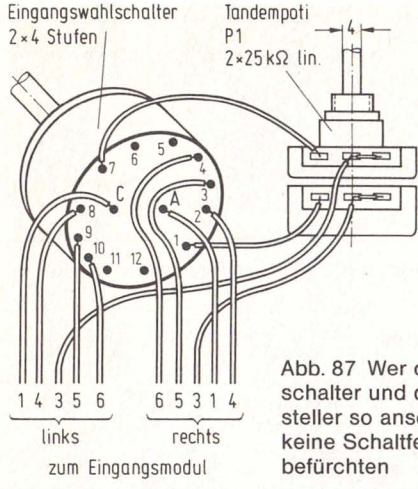


Abb. 87 Wer den Eingangswahlschalter und den AUX-Pegeleinsteller so anschließt, braucht keine Schaltfehler zu befürchten

bunden. *Abb. 87* läßt dies gut erkennen. Und *Abb. 88* zeigt uns, wie die Platinen untereinander und mit den Ausgangsbuchsen zu verbinden sind. Doch Vorsicht! Hier sind einige Kabelbäume nur als einfache Striche gezeichnet. Dies vereinfacht zwar die Darstellung, es werden jedoch einzelne Kabel, auch Abschirmkabel gebraucht, die später sauber zu bündeln sind.

So, und wohin kommt nun der Masseanschluß am Gehäuse? VDE kennt hier nur einen Weg: An den Schutzleiter des Netzstekkers! Deshalb dürfen auch die Blechteile der Buchsen nirgends mit der Gerätemasse verbunden sein. Und deshalb muß auch das kurze Stück Netzzuleitung innerhalb des Gehäuses sorgfältig von allen Blechteilen isoliert sein.

Haben Sie sich schon gefragt, weshalb in Abb. 84 zwei Feinsicherungen vorgesehen sind? Die sollen Sie schützen. Wenn nämlich ein Masseschluß mit dem Gehäuse passiert, dann „fliegt" unweigerlich eine von ihnen, egal, wie herum Sie den Netzstecker eingesteckt haben. Vorausgesetzt, Sie haben auch die beiden Netzzuleitungen über die Sicherungen geführt.

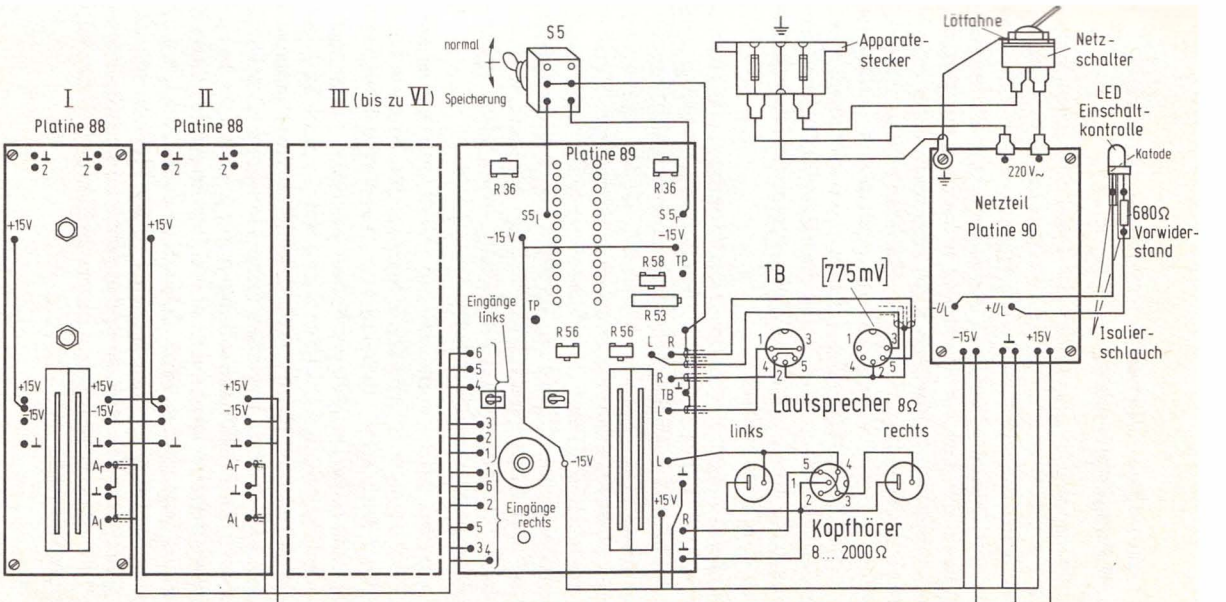


Abb. 88 Nach diesem Schema werden die einzelnen Module miteinander verkabelt

9.2 Ein Leistungsverstärker für wahlweise 50 W oder 100 W Ausgangsleistung

Eine Zeitlang schien es, als würden die Verstärkerleistungen eskalieren. 2 x 250-W-Lautsprecher tauchten auf und noch leistungskräftigere. Manche „exotischen" Lautsprecher brauchen einfach so viel. Dann aber zeigte es sich auf einer der letzten HiFi-Ausstellungen, daß sich die Hersteller wieder auf das gesunde Mittelmaß besannen. Schließlich kann sich nicht jeder extrem große Boxen in's Wohnzimmer stellen. Platzmangel und die Hausherrin sprechen dagegen. Ungefähr zur gleichen Zeit flatterte der ELO-Redaktion die Industrie-Applikation einer universellen Leistungsendstufe in's Haus. Was daraus die beiden ELO-Laboringenieure Ekkehard Scholz und Hans Wollner gemacht haben, sehen Sie auf den nächsten Seiten.

Sie beließen es nämlich nicht bei den notwendigen beiden Endstufen, die für je 50 W oder 100 W Einzelleistung ausgelegt sind, sondern sie bauten auch gleich noch den uns schon bekannten Stereo-Eingangsmodul aus dem Mischpult mit ein und setzten noch einen elektronischen Eingangsumschalter davor. Darüber hinaus entwickelten sie eine „Plop"-Unterdrückung, die den kräftigen Einschalt-„Rumms" beseitigt, sowie die Übersteuerungskontrollen und eine Spannungsausfall-Anzeige. Attribute also, die nur wenige Industrieverstärker haben. Doch sehen wir uns das alles einmal langsam nacheinander an.

Da ist zunächst die Endstufenschaltung in *Abb. 89*. Auf den ersten Blick ist sie nicht übermäßig aufwendig, aber wer sie baut, braucht eben doch zwei, und Darlington-Leistungstransistoren sind nicht ganz billig. Deshalb werden sie mit einer – auch nachträglich einzubauenden Schutzschaltung mit T4 und T5 – geschützt. Sobald eine mit P2 und P3 einzustellende Ansprechspannung überschritten wird, beginnen diese Transistoren zu leiten und setzen so die Eingangsspannungen der Darlingtons herab. Ebenso gefährlich aber ist es, wenn eine solche Endstufe plötzlich zu schwingen beginnt. Sie sollte deshalb so aufgebaut werden, wie sich das ihre Erfinder ausgedacht haben. Die Platinen müssen deshalb genau nach den *Abb. 90* und *91* geätzt und bestückt werden. Die Teile ohne Wertangaben unterscheiden sich in den beiden Leistungsklassen.

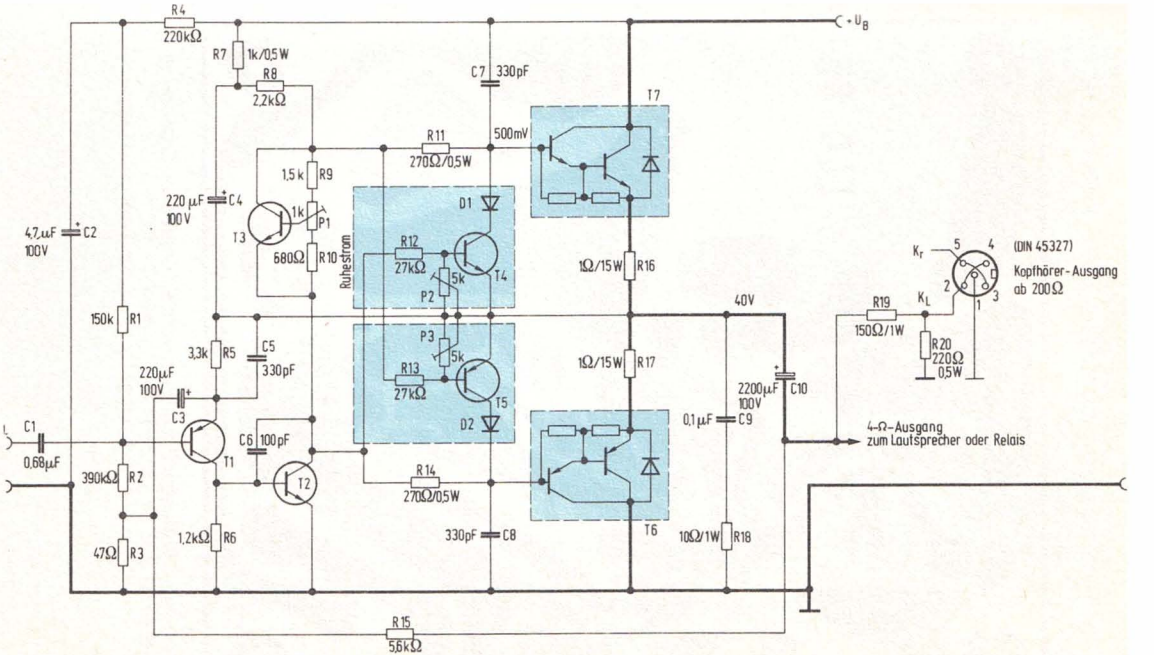


Abb. 89 Dies ist die Schaltung der Endstufe. Die angegebenen Werte gelten für die 100-W-Ausführung

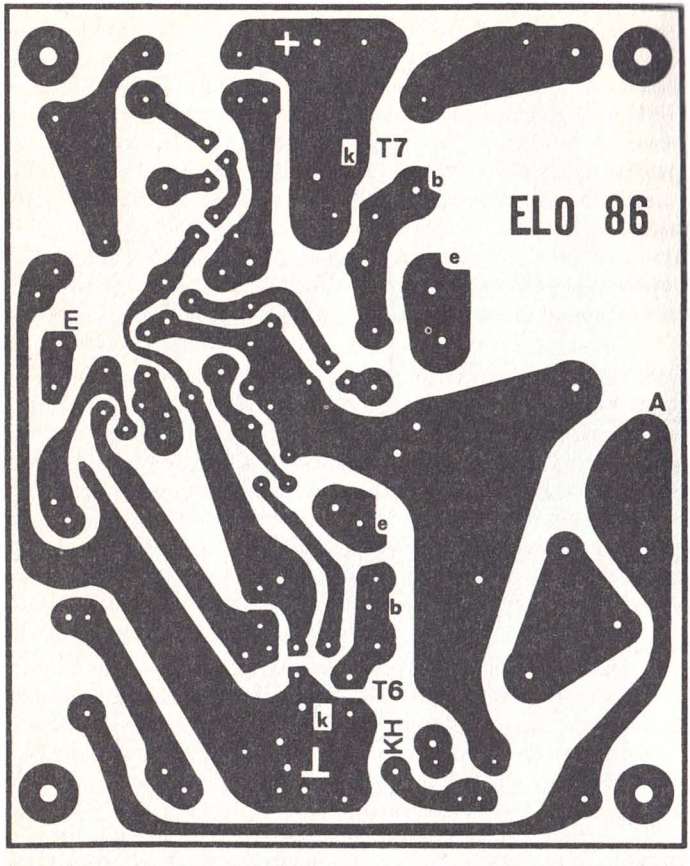
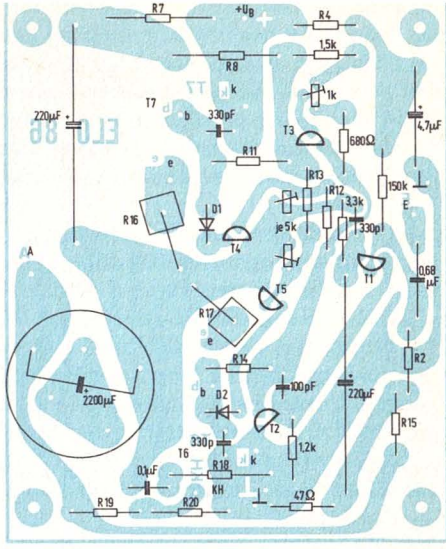


Abb. 90 Nur mit diesem Platinen-Layout sind optimale Ergebnisse zu erwarten

Abb. 91 Die fehlenden Werte zu diesem Bestückungsplan entnehmen Sie bitte den Tabellen



Stückliste: NF-Leistungsverstärker (Platine 86)

Bauelement	Verstärker-Version 50 W an 4 Ω	100 W an 4 Ω
Alle Widerstände ohne Leistungsangabe 0,25 W:		
R 1	150 kΩ	150 kΩ
R 2	220 kΩ	390 kΩ
R 3	47 Ω	47 Ω
R 4	100 kΩ	220 kΩ
R 5	3,3 kΩ	3,3 kΩ
R 6	1,2 kΩ	1,2 kΩ
R 7	1 kΩ	1 kΩ/0,5 W
R 8	2,7 kΩ	2,2 kΩ
R 9	1,5 kΩ	1,5 kΩ
R 10	680 Ω	680 Ω
R 11, R 14	270 Ω/0,5 W	270 Ω/0,5 W
R 12, R 13	10 kΩ	27 kΩ
R 15	2,7 kΩ	5,6 kΩ
R 16, R 17	1 Ω/7 W	1 Ω/15 W
R 18	10 Ω/0,5 W	10 Ω/1 W
R 19		150 Ω/1 W
R 20		220 Ω/0,5 W

Trimmpotentiometer:

P 1	1 kΩ	1 kΩ
P 2, P 3	5 kΩ	5 kΩ

Kondensatoren (100 V):

C 1	0,68 µF	0,68 µF (Folienk.)
C 5, C 7, C 8	330 pF	330 pF
C 6	100 pF	100 pF
C 9	0,1 µF	0,1 µF (Folienk.)

Elektrolyt-Kondensatoren (100 V):

C 2	4,7 µF	4,7 µF
C 3, C 4	220 µF	220 µF
C 10	2200 µF	2200 µF

Dioden:

D 1, D 2	BAW 76 od. BA 318	BAW 76 od. BA 318

Transistoren:

T 1	BC 557	BC 557
T 2	BC 637	BC 639
T 3, T 4	BC 548	BC 548
T 5	BC 558	BC 558
T 6	BDX 64 A	BDX 66 C
T 7	BDX 65 A	BDX 67 C
$R_{thK\ T\ 6,\ T\ 7}$	≦ 4,1 K/W	≦ 1,2 K/W

...für einen Transistor bei nichtisolierter Montage und ≦50 °C Umgebungs-Temperatur
Kühlkörper für 2 Transistoren im TO-3-Gehäuse
1 Platine 86

Stückliste:
Netzteil für zwei NF-Leistungsverstärker

2 Widerstände 1 Ω/9 W
2 Kondensatoren 0,1 µF/100 V
1 Kondensator 47 nF/400 V–
4 Elektrolyt-Kondensatoren 4700 µF/100 V
2 Brückengleichrichter B 80 C 5000/3200
Isoliermaterial für die Elkos
Flachsteckhülsen und -stecker
1 Kaltgeräte-Netzkabel (Europa-Norm)
1 Gerätestecker mit Sicherungshalter
1 Feinsicherung

Verstärker Version	50 W an 4 Ω	100 W an 4 Ω	
1 Netztransformator	2x 45 V ca. 200 VA	2x 57 V 300 VA	Wechselspannung Leistung

Nicht ganz billig kommt bei diesen Leistungen leider auch das Netzteil. Schließlich aber muß der Netztransformator neben der Ausgangsleistung auch die Verlustleistung mit übertragen und für alle Fälle noch ein paar ...zig Watt mehr, so daß er nicht bei jeder Leistungsspitze gleich zusammenbricht. Es hat sich gezeigt, daß je eine getrennte Sekundärwicklung pro Endstufe die besten Betriebsergebnisse bringt.

Die in der *Tabelle 1* zusammengefaßten Betriebsdaten setzen auch eine kräftige Kühlung voraus. Die Leistungsdarlingtons müssen dazu bei der 50-W-Ausführung auf einen Kühlkörper mit 4,1 K/W und bei der 100-W-Ausführung auf einen mit 1,2 K/W (je Transistor!) montiert werden. Zwei Kühlkörper je Endstufe sind dann zweckmäßig, wenn die Transistoren zwecks besseren Wärmetransports nichtisoliert darauf montiert werden. Das macht dann allerdings einen Berührungsschutz erforderlich. Wenn das alles aber erst einmal läuft, können sich die Daten der Endstufen auch sehen lassen. Sehen Sie sie selbst; in der Tabelle und in den *Abb. 93* und *94*.

Eine Warnung muß noch ausgesprochen werden: Die Leistungs-Darlingtontransistoren schätzen keine Spannungsspitzen.

Tabelle 1.

Nenn-Ausgangsleistung	50	100	W
Lastwiderstand	4	4	Ω
Speisespannung bei Vollaussteuerung	60	80	V
Kollektorstrom der Eingangsstufe T_1	0,5	0,5	mA
Kollektorstrom der Vortreiberstufe T_2	4	4	mA
Ruhestrom der Endstufe	40	40	mA
Gesamtstromaufnahme bei Vollaussteuerung	1,65	2,25	A
Maximale Ausgangsleistung bei f = 1 kHz und k = 1 %	57	109	W
Eingangsspannung für Vollaussteuerung	400	500	mV
Eingangsscheinwiderstand	150	150	kΩ
Ausgangsscheinwiderstand	0,05	0,1	Ω
Klirrfaktor bei f = 1 kHz und Nenn-Ausgangsleistung	0,35	0,3	%
Intermodulationsfaktor bei Nenn-Ausgangsleistung (DIN 45 500)	0,6	0,5	%
Fremdspannungsabstand bezogen auf P_o = 50 mW	>75	>70	dB

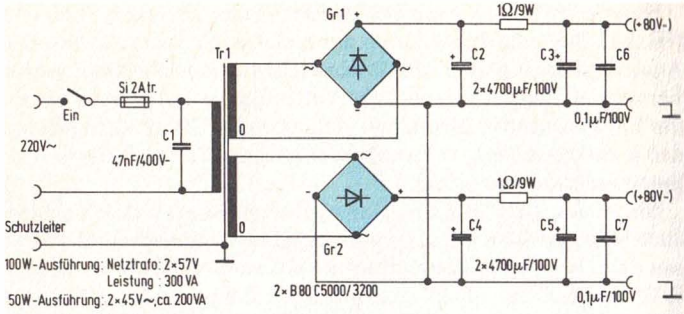


Abb. 92 Das einfache, aber kräftige Netzteil

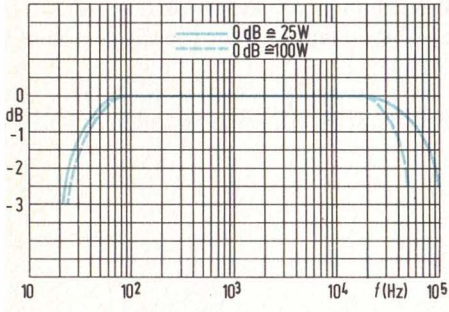


Abb. 93 Das sind der Spannungsfrequenzgang (durchgezogene Linie) und der Leistungsfrequenzgang (gestrichelte Linie) der 100-W-Endstufe

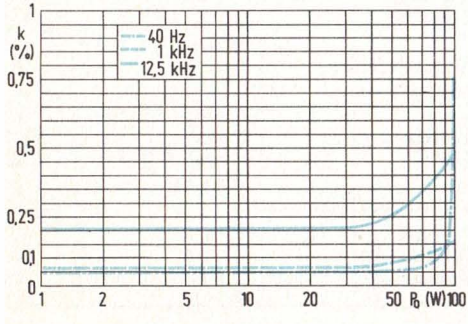


Abb. 94 An 4 Ω wurden diese Klirrgradkurven für drei Frequenzen gemessen

Die Speisespannungen 60 V für die 50-W-Ausführung und 80 V für die 100-W-Ausführung dürfen nicht überschritten werden.

Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, kommt unser Leistungsverstärker mit 400 mV bzw. 500 mV Eingangsspannung aus. Er kann also direkt an das Mischpult angeschlossen werden, dem dann sogar noch etwas Reserve bleibt. Wer aber gern einen Vollverstärker möchte, dem seien noch die folgenden Zusatzschaltungen angeraten.

Da ist zunächst die Steuerplatine, die Eingangs- und Ausgangsbuchsen, einen elektronischen NF-Umschalter, eine Lautspre-

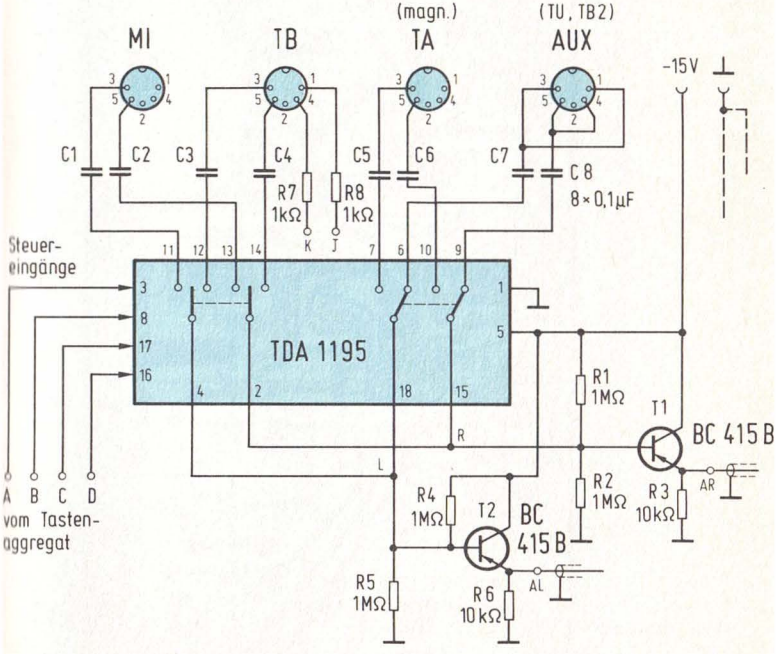
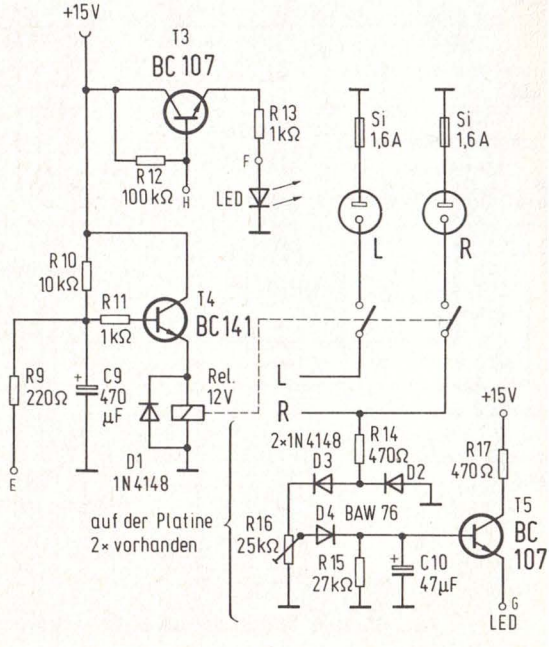


Abb. 95 Dies ist nun der zusätzliche Steuerteil

cher-Einschaltverzögerung, eine Kontrollschaltung für die Betriebsspannungen und eine Übersteuerungskontrolle enthält. Besonders der elektronische Eingangsumschalter ist eine feine Sache, die Eingänge werden hier mit Steuergleichspannungen umgeschaltet. Das erspart abgeschirmte Leitungen und vermeidet den lästigen Ärger mit eingestreutem Brummen.

Wie die Steuerplatine geschaltet ist, geht aus *Abb. 95* hervor, Leiterbahnführung und Bestückung aus den *Abb. 96* und *97*. Und *Abb. 98* schließlich zeigt den fertigen Modul.

Die Relaisschaltung ist in *Abb. 95* ebenfalls mitenthalten. Sie sorgt dafür, daß die Lautsprecher erst vier bis fünf Sekunden nach dem Einschalten des Verstärkers zugeschaltet werden.



noch Abb. 95

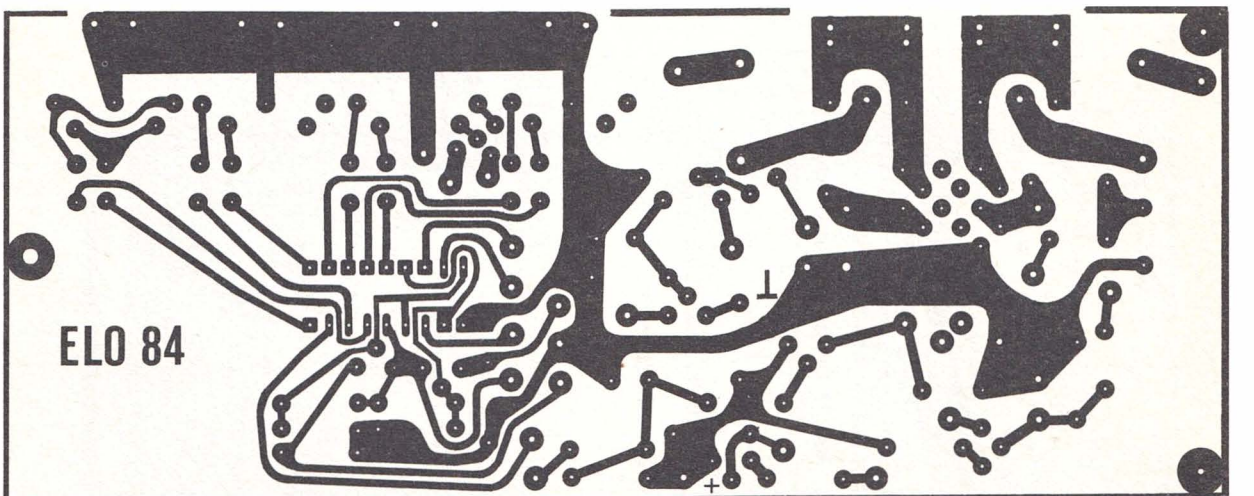


Abb. 96 Platinen-Layout des Steuerteils

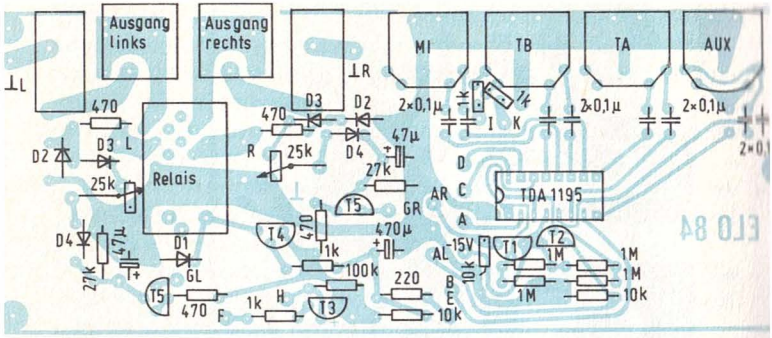


Abb. 97 Und so wird bestückt

Stückliste: (Steuerplatine ELO 84)

Widerstände (0,25 W)

1 220 Ω
4 470 Ω
3 1 kΩ
3 10 kΩ
2 27 kΩ
1 100 kΩ
4 1 MΩ

Trimmpotentiometer

2 25 kΩ

Folienkondensatoren

8 0,1 µF

Elektrolyt-Kondensatoren (16 V)

2 47 µF
1 470 µF

Dioden

5 1 N 4148
2 BAW 76 oder BA 318
1 grüne LED
2 rote LED

Transistoren

2 BC 415 B
3 BC 107, BC 173 o. ä. Universaltypen
1 BC 141-10

1 integrierte Schaltung TDA 1195

Sonstiges

1 Kammrelais 12 V/2×Um, etwa 300 Ω Spulenwiderstand (z. B: Bv 5506/0100, DFG)
1 Relaisfassung
3 LED-Fassungen
2 Sicherungshalter für Platinenmontage und Sicherungen 1,6 A flink
4 Normbuchsen, 5polig, 180°
2 Lautsprecherbuchsen (alle Buchsen für Platinenmontage)
1 m isolierte Litze oder Flachbandleitung
0,5 m abgeschirmte NF-Leitung
1 Tastenaggregat nach Bild 8
1 Platine ELO 84

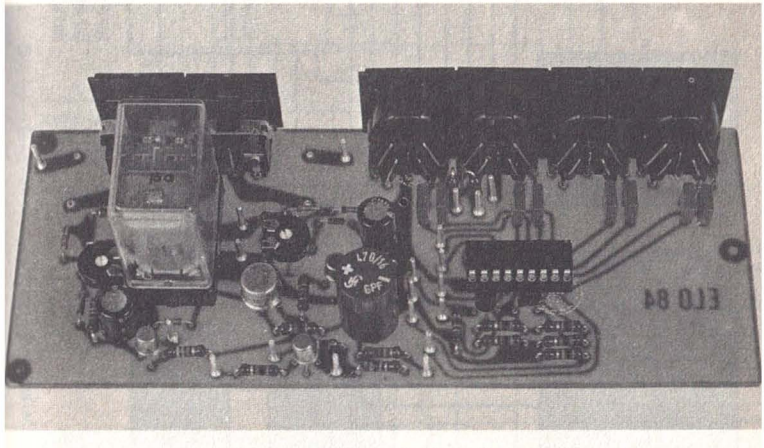
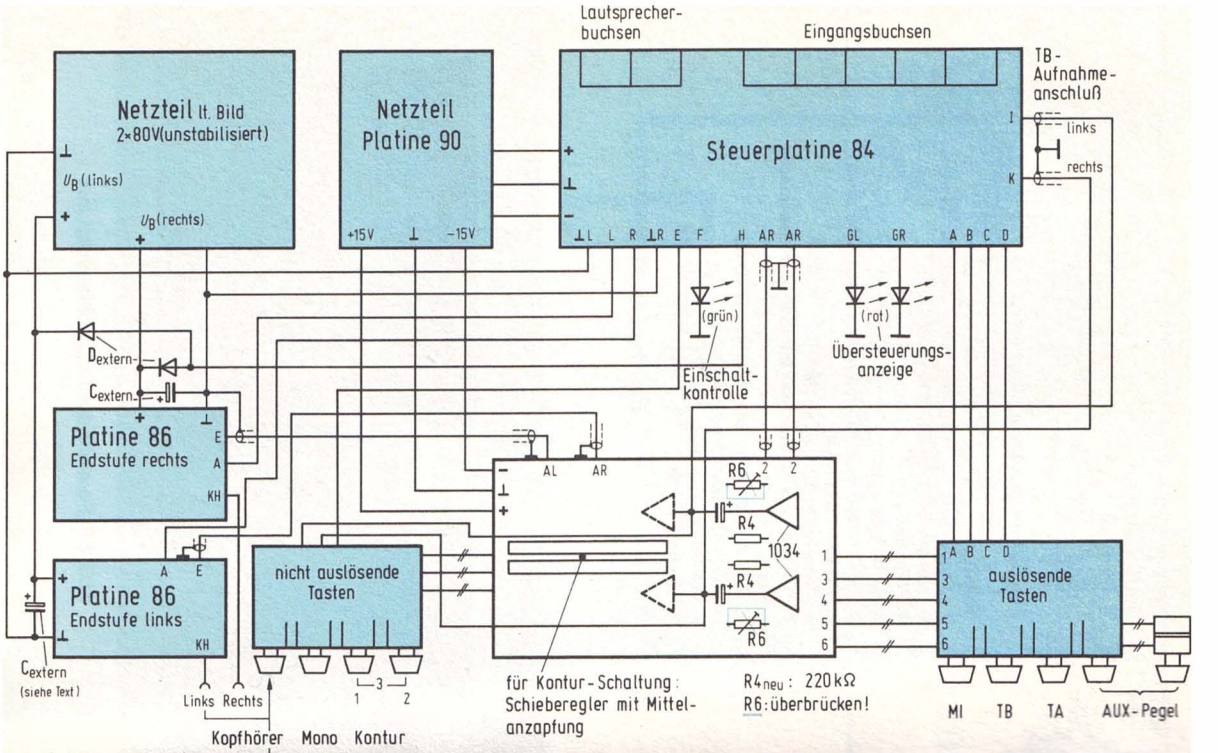


Abb. 98 So sieht der fertige Steuerteil aus


Lautsprecher-buchsen
Eingangsbuchsen
TB-Aufnahme-anschluß
links
rechts
Netzteil lt. Bild
2×80V(unstabilisiert)
U_B(links)
U_B(rechts)
Netzteil Platine 90
+15V
−15V
Steuerplatine 84
L L R R E F H AR AR GL GR A B C D
(grün)
Einschalt-kontrolle
(rot)
Übersteuerungs-anzeige
D_{extern}
C_{extern}
Platine 86
Endstufe rechts
E
A
KH
Platine 86
Endstufe links
A E
KH
C_{extern}
(siehe Text)
nicht auslösende Tasten
AL AR
R6
R4
1034
R4
R6
auslösende Tasten
A B C D
Links Rechts
Kopfhörer
Mono
Kontur
(LS-Abschaltung)
für Kontur-Schaltung: Schieberegler mit Mittel-anzapfung
$R4_{neu}$: 220 kΩ
R6: überbrücken!
MI
TB
TA
AUX-Pegel

Die Betriebsspannungskontrolle am Anschluß F – eine grüne LED – leuchtet auf, wenn alle Betriebsspannungen anliegen, und sie erlischt, wenn eine davon ausfällt. Diese Betriebsspannungen werden der Überwachungsschaltung über Entkoppeldioden BA 318 zugeführt *(Abb. 99)*. Ja, und schließlich sind da noch die beiden Übersteuerungsanzeigen (in Abb. 95 ist nur eine davon eingezeichnet), die rote LED zum Flackern bringen, wenn die maximale Ausgangsleistung überschritten wird. Für Kopfhörerbetrieb lassen sich die Lautsprecher auch noch abschalten, wenn Punkt E über einen zusätzlichen Taster an Masse gelegt wird. Wie das alles zusammengeschaltet wird, zeigt uns *Abb. 99*, und *Abb. 100* erläutert zusammen mit Abb. 99, wie die Eingangswahltasten und der AUX-Pegeleinsteller verdrahtet werden.

Wer eine Kontour-Einstellung wünscht, kann schließlich noch den Eingangsmodul umrüsten. Die zusätzliche Schaltung enthält *Abb. 101*, und *Abb. 102* zeigt die damit zu erreichenden Frequenzgänge. Sie muß getrennt mit zwei unabhängigen Tastern aufgebaut werden und hat den Vorteil, daß sie neben der Linearstellung drei Kontourstufen bietet.

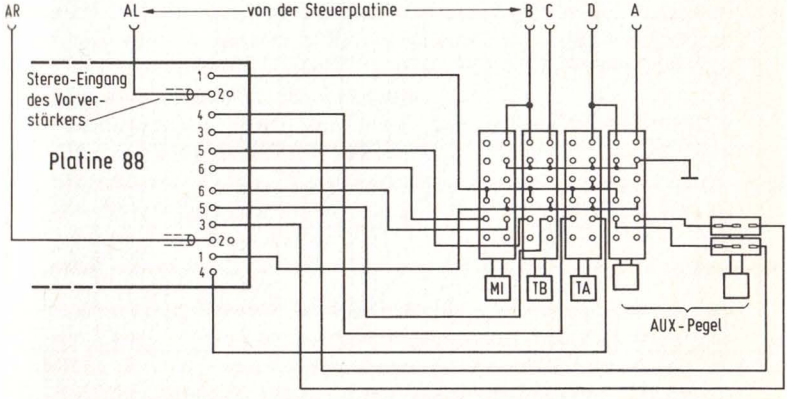


Abb. 100 Und so werden die Eingangswahltasten verdrahtet

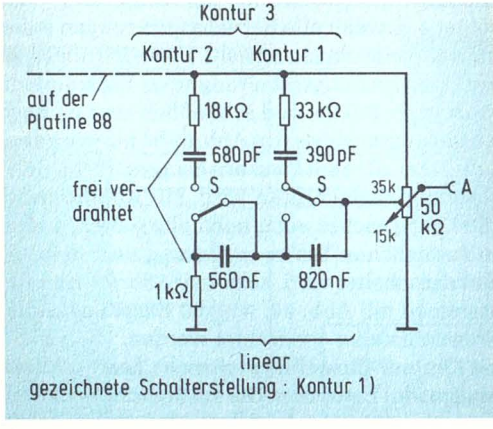


Abb. 101 Für den Kontoureinsteller braucht man zwar spezielle Flachbahn-Potentiometer . . .

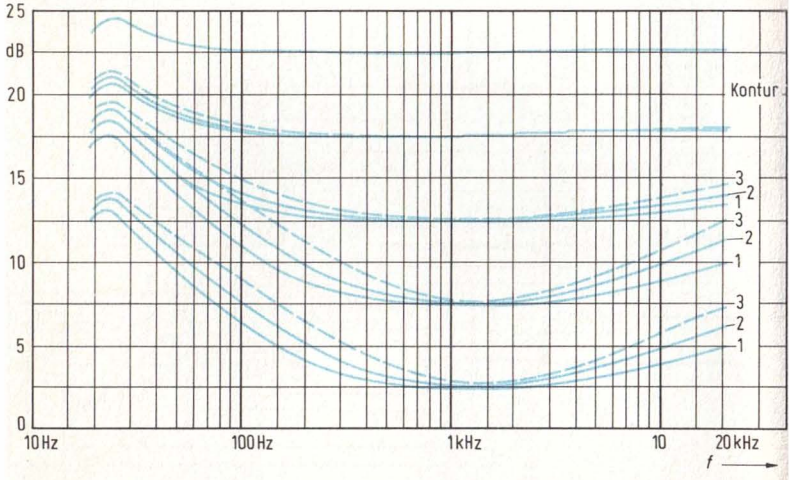


Abb. 102 . . . aber seine Wirkung läßt sich hören (und hier sehen)

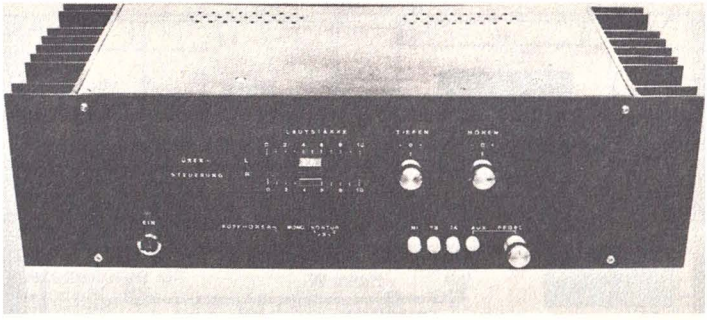


Abb. 103 Dies ist das Mustergehäuse samt Vollverstärker . . .

Wie nun der Verstärker in ein Gehäuse eingebaut werden kann, geht aus den *Abb. 103* und *104* hervor. Eines muß jedoch gesagt werden: Weil hier mit verhältnismäßig großen Spannungen und Leistungen gearbeitet wird, sollten sich nur wirklich Fortgeschrittene an den Bau wagen. Sonst ist der Gegenwert einer halben Kilomark vertan. Und es ist auf peinlichst sorgfältige Isolierung der einzelnen Baugruppen voneinander zu achten. Da die Größe des Gehäuses vom Netztransformator und den Kühlkörpern abhängt, können dazu keine genauen Angaben gemacht werden. Das Mustergerät mißt 400 x 125 x 180 mm.

Zur Ruhestromeinstellung der Endstufen werden zunächst alle Trimmpotentiometer in Mittenstellung gebracht. Dann wird der Strommesser in die Plus-Versorgungsleitung eingeschleift, die Stromversorgung der einen Endstufe eingeschaltet (die andere ist solange abzuklemmen) und der Ruhestrom von 40 mA eingestellt. Dann macht man das Gleiche mit der anderen Endstufe.

Zum Einstellen der Schutzschaltungen werden ein Sinusgenerator und ein NF-Millivoltmeter gebraucht. Am Sinusgenerator stellt man 1 kHz und eine Ausgangsspannung von 400 mV (50-W-Ausführung) bzw. 500 mV (100-W-Ausführung) ein. Der einzustellende Verstärker ist mit seiner Nennlast (4 Ω, am besten mit ei-

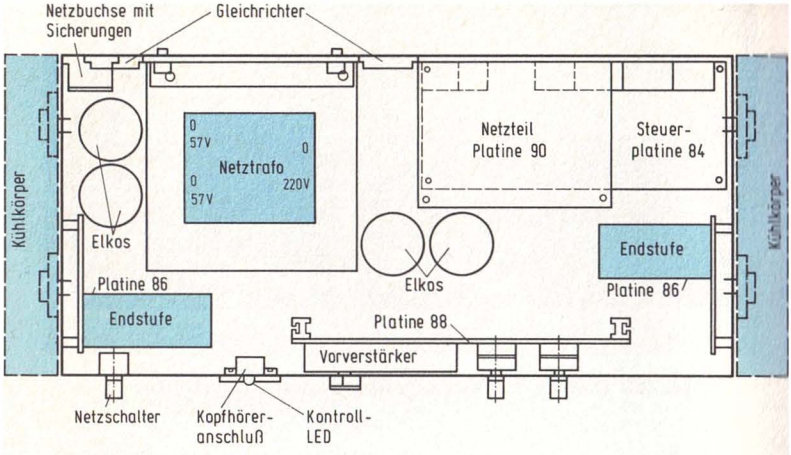


Abb. 104 ... und dies ist ein Vorschlag, wie die einzelnen Baugruppen im Gehäuse untergebracht werden können

nem Ersatzwiderstand) abzuschließen und die Ausgangsspannung mit einem Oszilloskop zu überwachen.

Der voreingestellte Sinusgenerator wird an den Endstufeneingang angeschlossen und dann erst der Verstärker eingeschaltet. P2 und P3 werden nun so eingestellt, daß die Endstufe bei voller Leistung gerade symmetrisch zu begrenzen beginnt.

Eine Warnung sei noch hinzugefügt: Die Endstufe darf nie mit offenem Eingang betrieben werden. Falls also weder der Eingangsmodul noch ein Meßgenerator an den Eingang angeschlossen sind, sollte der Eingang der Endstufe mit höchstens 50 kΩ abgeschlossen sein; sonst besteht unter Umständen Schwingneigung und die Gefahr der Zerstörung.

Anmerkung: Die in den Stücklisten angegebenen Bauteile für die beiden hier beschriebenen Verstärker hält die Firma Balü, Chilehaus, Burkhardtstr. 14, 2000 Hamburg 1, vorrätig.

Sachverzeichnis

A
Abschattung 10
A/B-Stereofonie 23
Abspielgeräte 46
Abtaststifte 67
Abtastverzerrungen 68
Akustische Rückkopplung 88
Ambiofonie 33
Antriebe 47
Auflagekraft 65
Aufstellen 87

B
Basisbreite 20, 88
Bauanleitungen 92
Brummschleife 91

C
Capstan 49
Compact Disc 42
Compiler 30
Compliance 64

D
Decoder 79
Differenzsignale 33
DIN 45500 14, 15, 52, 63
Direktschall 31
Doppelstereofonie 33
Dynamik 13

E
Encoder 78
Entfernung 8
Entzerrervorverstärker 63
Erholungszeiten 10
Exzentrizität 53

F
Fremdspannungsabstand 45
Frequenzbereich 12

G
Gehör 6
Gleichlaufschwankungen 53

H
Hallanteile 21, 31
Hi-Fi 12
Historie 17, 35
Hochlaufzeit 51
Hörabstand 20, 88
Hysteresis-Kupplung 55

I
Impuls-Code-Modulation 45
Intensitätsstereofonie 24
Intermodulationen 14

K
Keramikwandler 61
Klang | farben 7
– unterschiede 10
Klirrgrad 14
Kompatibilität 25, 77
Kunstkopf 7, 8, 19, 22

L
Laufzeitunterschiede 9, 20
Lautstärkenunterschiede 10
Lautsprecher 83

M
Motoren 47
moving coil 65

O
Ohrempfindlichkeitskurven 11
Ohrenabstand 9
ω-Frequenzgang 60

P
Phasen | linearität 14
– unterschiede 10
Pilottonverfahren 81
Pseudostereofonie 25

Q
Quadrofonie 26
Quarzstabilisierung 53
Quasiquadrofonie 27

R
Rauschen 11, 13
Regelung 51
Richtungslokalisierung 9
Richtwirkung 7
Rundfunkempfangsteile 87

S
Schall|einfallsrichtung 9
– platte 34
– plattenschriften 39
– quelle, virtuelle 21
– wellenlänge 9
Schliff 67
Schneidkennlinie 62
Schnelle 63
Skating-Kompensation 73
Spurlagen 45
Stereo-Multiplex-Signal 79, 81
Stereo-Rundfunk 76
Summenlokalisation 20

T
Tangential-Tonarm 74
Terzbreiten 10
Ton | abnehmer 61
– armgeometrie 66
– band 43
– kopf 58
Trackability 64
Trittschalldämpfung 56

U
Über|sprechdämpfung 66
– tragungskanäle 20

V
Verstärker 85
Verzerrungen 14
Vorverzerrer 60

W
Wickeldrehmoment 53
Wiedergabeentzerrer 60

Z
Zählwerke 55

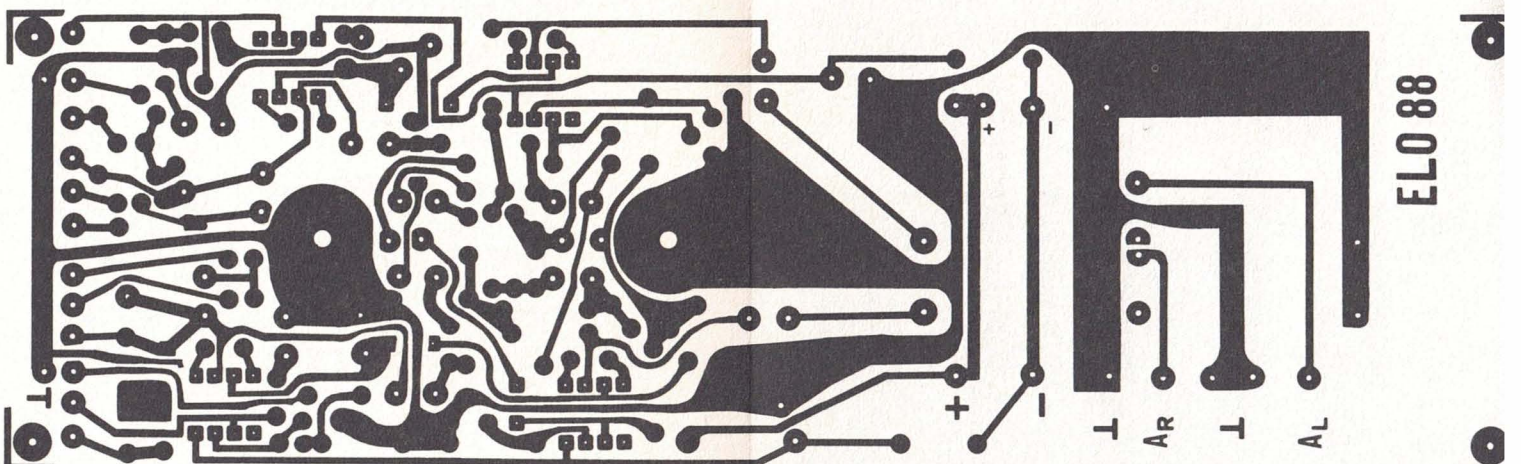


Abb. 67 Platinen-Layout für den Eingangsmodu

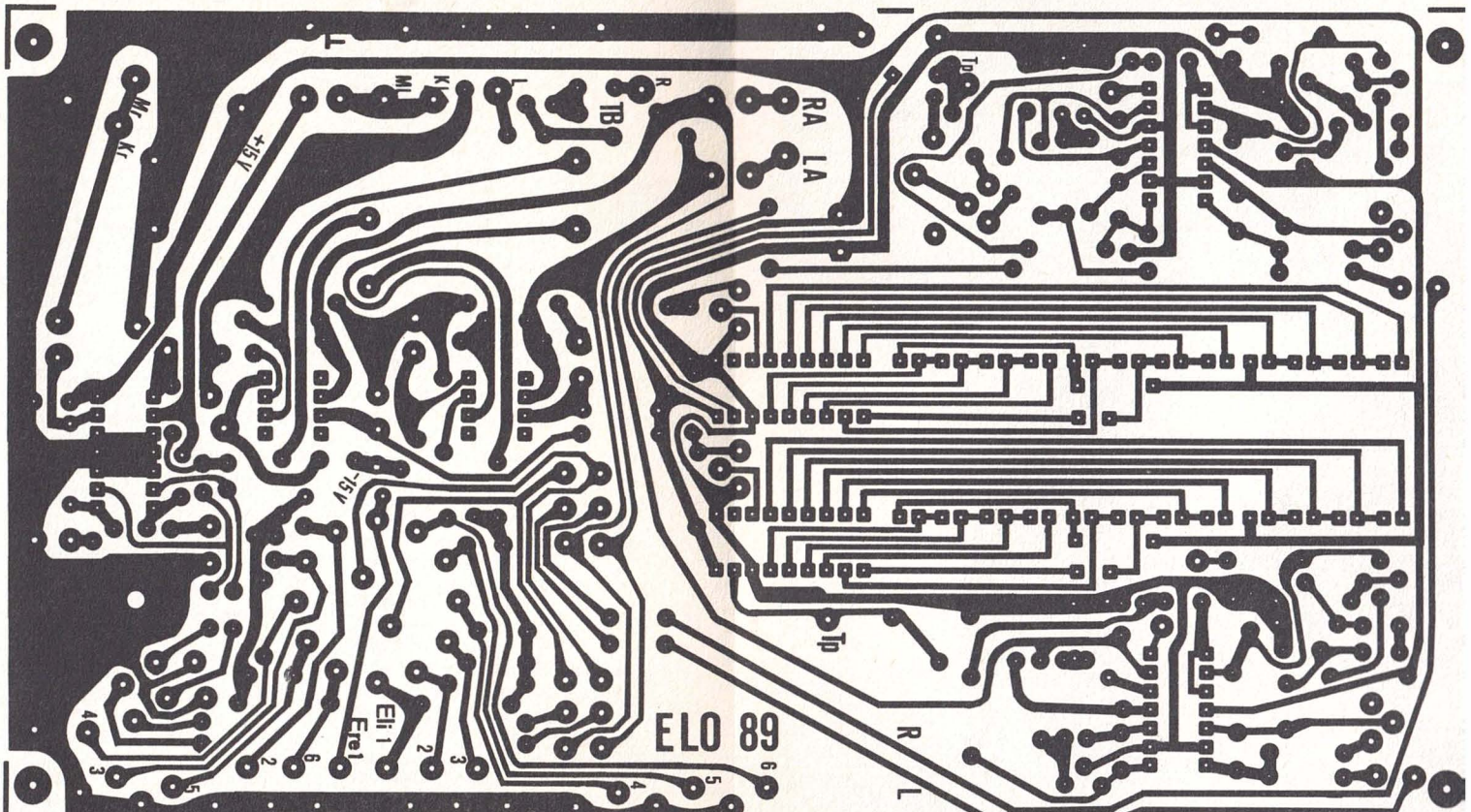


Abb. 76 Dies ist nun das Platinen-Layout zum Mischverstärkermodu

101 • • • Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau (Böhm). 7. Aufl.

102 • • Elektronische Bauelemente – einfach geprüft im Hobby-Labor (Nührmann)

103 • • Die Wobbelsender (Sutaner). 4. Aufl.

104 • • Transistorsender für die Modellfernsteuerung (Bruß). 6. Aufl.

105 • • • Lautsprecher und Lautsprechergehäuse für HiFi (Klinger). 10. Aufl.

106 • • • Netztransformatoren und Drosseln (Klein). 5. Aufl.

107 • • Arbeits- und Stationspraxis im Funkverkehr (Gerzelka).

108 • • Amateurfunk-Superhets (Gerzelka). 4. Aufl.

109 • • • Transistor-Amateurfunkgeräte für das 2-m-Band (Reithofer). 5. Aufl.

110 • • Der Hobby-Elektroniker prüft seine Schaltungen selbst (Nührmann).

111 • • Zeigerinstrumente (Köhler). 4. Aufl.

112 • • Das Löten für den Praktiker (Strauß).

116 • Wie und wo kauft der Hobby-Elektroniker seine Bauteile? (Nührmann).

118 • Bauelemente für den Hobby-Elektroniker (Nührmann).

119 • • • Gedruckte Schaltungen (Sutaner/Wißler). 4. Aufl.

120 • • SSB-Transceiver-Technik (Gerzelka)

122 • • Der Hobby-Elektroniker plant seine Schaltungen selbst (Nührmann)

123 • • Arithmetisch-logische Rechenwerke im Experiment (Benda)

125 • Die Mechanik für den Hobby-Elektroniker (Nührmann)

126 • • • Betriebstechnik des Amateurfunks (Henske). 5. Aufl.

127 • • Schaltungsanwendungen der Optoelektronik (Oehmichen)

129 • • • Tips und Schliche (Nührmann)

132 • • FM-Transceiver-Technik (Gerzelka)

134 • • Kleines Halbleiter-ABC (Büscher, Wiegelmann). 3. Aufl.

135 • • • ABC der Mikroprozessoren und Mikrocomputer (Pelka)

136 • Transistorisierte Netzgeräte (Strobel). 5. Aufl.

137 • • Meßgeräte mit IC's (Sehrig)

139 • • • Digitale Steuerungen von Modelleisenbahnen (Platerink)

142 • • Kleine HiFi-Stereo-Praxis (Knobloch)

144 • • • Amateurfunk-Morsetelegrafie CW (Pietsch)

146 • • Halbleiterspeicher (Bonerz)

147 • • • Fernseh-Service leicht gemacht (Lummer). 4. Aufl.

160 • • • Relais (Köhler). 2. Aufl.

168 • • Vademekum für den Funkamateur KW und UKW (Diefenbach/Geyrhalter). 7. Aufl.

171 • • • Halbleiter-Schaltungstechnik einfach dargestellt (Benda). 3. Aufl.

172 • • FET-Theorie (Dieleman)

173 • • Anwendungsbeispiele für den Mikroprozessor 6502 (Feichtinger)

174 • • Amateurfunkgeräte für das 70-cm-Band (Reithofer). 3. Aufl.

176 • • Integrierte Schaltungen für den Funkamateur (Birchel). 2. Aufl.

178 • • • • Schirmbilddiagnose und Messungen am Farbfernsehempfänger (Bochum/Dögl).

179 • • Digitale Elektronik für Anfänger (Kleemann). 4. Aufl.

180 • • • KW- und UKW-Sender für den Funkamateur (Diefenbach). 4. Aufl.

300 • • Kfz-Elektronik im Selbstbau (Jansen). 3. Aufl.

302 • • • Electronic-Pianos und Synthesizer (Tünker). 2. Aufl.

308 • • 20 Experimente mit optoelektronischen Schaltungen (Blaise).

309 • • Modell-Autorennbahn elektronisch gesteuert (Christoffers)

311 • • Lautsprechergehäuse-Baubuch (Klinger) 2. Aufl.

312 • Elektronische Gleisbildstellwerke (Jäger)

314 • • • Hobby-Schaltungen (Schreiber)

315 • Lautsprecher-Kits (Klinger)

331 • • • Verstärkerbau mit integrierten Schaltungen (Wirsum). 4. Aufl.

335 • • • Mischpulte und Mischpultmodule (Wirsum). 4. Aufl.

336 • • • Musikelektronik (Tünker). 4. Aufl.

337 • • • Elektronische Hilfsmittel für Film und Foto (Horst).

338 • • Experimente mit IS (Kleemann). 2. Auflage.

340 • • • Vom Flip-Flop zur Quarzuhr (Pelka). 3. Aufl.

341 • • Modelleisenbahn-Elektronik im Selbstbau (Jungmann). 3. Aufl.

342 • • • Elektronik in der Popmusik (Goddijn). 2. Auflage

Knobloch, Kleine HiFi-Stereo-Praxis

142

Doppelband

RPB

Stereofonie und HiFi. Worte mit denen wir täglich konfrontiert werden. Aber wissen wir wirklich genug darüber? Genug, um uns bei der Fülle der Angebote zurechtzufinden? Genug, um über Qualität zu urteilen?

Dieses Buch vermittelt Ihnen einen ersten Blick hinter die Kulissen. Die Zusammenhänge zwischen menschlichen Hörvorgängen und der elektronischen Wiedergabetechnik werden beschrieben. Die Eigenschaften der einzelnen Komponenten von Stereoanlagen werden erläutert, so daß der Leser in die Lage versetzt wird, das Angebot zu durchschauen und sich selbst ein Urteil zu bilden.

Ein Ratgeber für jedermann. Er hilft nicht nur, sich in der Welt der Stereofonie und HiFi zurechtzufinden, sondern gibt auch Tips für den Kauf, die Geld sparen helfen können. Und für den Hobby-Elektroniker hält der Autor noch ausführliche Bauanleitungen bereit.

Der Autor: Er ist Fachschriftsteller und technischer Redakteur in unserem Verlag. Durch Veröffentlichungen von mehreren Büchern für Unterhaltungselektronik, Elektronik, Modellbahn- und Fototechnik hat er sich einen Namen gemacht.

PS.: Möchten Sie Ihr Wissen weiter vertiefen, prüfen Sie bitte das Buch „Schlüssel zur HiFi" vom selben Autor, ebenfalls im Franzis-Verlag erschienen.

ISBN 3-7723-1421-X